

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2015

Bc. Jiří Kloda

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroniky**

**Zatěžovací stanoviště pro elektrický pohon s  
měniči firmy ABB**

Experimental Stand for Electric Drives with ABB  
Converters

2015

Bc. Jiří Kloda

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jiří Kloda**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T015 Elektronika

Téma:

**Zatěžovací stanoviště pro elektrický pohon s měniči firmy ABB**  
**Experimental Stand for Electric Drives with ABB Converters**

Zásady pro vypracování:

1. Specifikujte možnosti zatěžovacího stanoviště firmy ABB se stejnosměrným a střídavým pohonem.
2. Rozeberte možnosti použití tohoto stanoviště s ohledem na směr toku výkonů.
3. Na základě pokynů vedoucího diplomové práce navrhnete aplikace pro využití tohoto stanoviště, provedte experimentální měření a z těchto měření vypracujte vzorové protokoly.

Seznam doporučené odborné literatury:

Firemní literatura ABB k měničům ACS 800 a DCS 800.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Petr Palačský, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 7.5.2015 .....

.....  
Podpis autora

## **Poděkování**

*Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a také za trpělivost, ochotu a čas, který mi věnoval.*

*Dále bych chtěl poděkovat své rodině za všestrannou podporu, kterou mi poskytli během mého studia.*

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je analyzovat zatěžovací stanoviště pro elektrický pohon s měniči firmy ABB. Toto stanoviště se skládá ze soustrojí motorů a elektromagnetické brzdy. Hřídele těchto motorů jsou propojeny spojkami. Asynchronní motor je řízen měničem kmitočtu ACS800 a stejnosměrný motor s cizím buzením usměrňovačem DCS800. V první části práce popisují zatěžovací stanoviště jako takové a jeho nejdůležitější součásti. V další části specifikují jeho možnosti a provádím experimentální měření. Dále je stanoviště rozebráno z hlediska směru toku výkonu. Výsledkem této práce jsou vzorové úlohy včetně experimentálních měření, které jsou přiloženy. Dokumentace tohoto stanoviště se nachází v příloze této diplomové práce.

## **Klíčová slova**

ACS800, DCS800, střídavý měnič, usměrňovač, pohon, zatěžovací stanoviště

## **Abstract**

The aim of this thesis is to analyze experimental stand for electric drive with ABB converters. This station consists of sets of motors and electromagnetic brakes. The shafts of these motors are connected couplings. Asynchronous motor is controlled by a frequency converter ACS800 and DC motor with separate excitation by rectifier DCS800. The first part describes the experimental stand for electric drive itself and its most important components. In the next section specifies its possibilities and doing experimental measurements. In the next section is experimental stand discussed in terms of the direction of power flow. The results of this work are example laboratory measurement, which are attached. Documentation of this experimental stand is located in the appendix of this thesis.

## **Keywords**

ACS800, DCS800, AC/AC converter, rectifier, drive, Experimental Drive Set Stand

## Seznam použitých symbolů a zkratek

2Q	dvoukvadrantový
4Q	čtyřkvadrantový
AC	Alternating Current (střídavý proud)
ACT	Actual (klávesa pro zobrazení aktuálního signálu)
ASIC	Application Specific Integrated Circuits
BWD	Backward (vzad)
$C$ [F]	kondenzátor, elektrická kapacita
C1, D1	svorky výstupního napětí usměrňovače
CD	Compact Disc (kompaktní disk)
ČT	čidlo teploty
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
DDCS	Distributed Drives Communication System (komunikační systém pohonů)
DTC	Direct Torque Control (přímé řízení momentu)
$E_R$ [kW]	povolný ztrátový výkon brzděného odporu
EMF	Electromotive force (elektromotorické napětí)
F	Fuse (pojistka)
FWD	Forward (vpřed)
GTO	Gate Turn Off (hradlem vypínatelný tyristor)
CH	Channel (kanál)
IČ	Inkrementální Čidlo
I/O	input/output (vstup/výstup)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (bipolární tranzistor s izolovaným hradlem)
IP	International Protection (stupeň krytí)
KM	stykač
$L$ [H]	cívka, indukčnost cívky
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
LED	Light Emitting Diode (svítivá dioda)
LOC	Local (místní ovládání)

Opt.	Optika
OCEP	Oceloplechové
PAR	Parameters (tlačítko pro zobrazení parametrů)
$P_{BR} [\Omega]$	výkon brzdného odporu
$P_{max} [\Omega]$	maximální výkon
PC	Personal Computer (osobní počítač)
PE	ochranný vodič
PI	proporcionálně integrační regulátor
PID	proporcionálně integračně derivační regulátor
PLC	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)
PT100	Platinové teplotní čidlo
PTC	Positive Temperature Coefficient (s rostoucí teplotou roste odpor)
PTTA	Partially Type-Tested Assembly (částečně typově zkoušeno)
PWM	Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)
$R+$ , $R-$	svorky pro připojení brzdného odporu
$R [\Omega]$	rezistor, elektrický odpor
REF	Reference
REM	Remote (vzdálené ovládání)
rpm	revolutions per minute (otáčky za minutu)
ŘP	řídící panel
S1- S6	spínací polovodičové součástky
SS	Stejnoseměrný
St.	Střídavý
TORQ	Torque (moment)
$\underline{u}_0 - \underline{u}_7$	napěťové vektory
$u_{1a}, u_{1b}, u_{1c} [V]$	okamžité hodnoty fázových napětí statoru asynchronního motoru
$U_{cc} [V]$	napájecí napětí
$U_d [V]$	střední hodnota usměrněného napětí
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
V	polovodičová součástka



## Obsah

Úvod.....	10
1 Rozbor zatěžovacího stanoviště .....	11
1.1 Rozvaděč OK1 .....	12
1.1.1 Technická data použitých měničů na rozvaděči OK1 .....	13
1.2 Motorový stand OK2.....	15
1.2.1 Technická data použitých součástí motorového standu OK2 .....	16
1.3 Řídicí panel s ovládacími prvky MS1 .....	17
2 Popis nejdůležitějších použitých komponentů .....	18
2.1 ACS800.....	18
2.1.1 DTC – Metoda přímého řízení momentu .....	19
2.1.2 Brzdový odpor.....	21
2.1.3 Rozšiřující moduly ACS800 .....	23
2.1.4 Ovládání ACS800 .....	24
2.2 DCS800.....	26
2.2.1 Řídicí deska SDCS-CON-4 a rozšiřující moduly.....	29
2.2.2 Ovládání DCS800 .....	31
2.3 Bezpečnostní relé C574.....	33
2.4 Ovládání měničů pomocí programu DriveWindow .....	34
3 Možnosti zatěžovacího stanoviště.....	39
3.1 Zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným .....	39
3.2 Zatěžování stejnosměrného pohonu střídavým .....	41
4 Rozbor zatěžovacího stanoviště z hlediska toku výkonu .....	43
4.1 Spínání braking chopperu měniče ACS800 .....	43
4.2 Rekuperační brzdění pomocí 4Q – usměrňovače DCS800 .....	44
Závěr .....	46
Literatura.....	47
Seznam příloh .....	48

# Úvod

Napájení elektrických motorů představuje zhruba 28% celosvětové spotřeby elektrické energie. Mnohé motory jsou silnější, než je nutné. Povětšinou běží na plný výkon a to i tehdy, když to není zapotřebí. Při použití motorů s vyšší účinností spolu se zařízeními, které přizpůsobují jejich otáčky konkrétním potřebám, takzvanými frekvenčními měniči, můžeme značně navýšit úspory elektrické energie. Elektřina využitá k pohonu motoru během jeho životnosti stojí mnohonásobně (až stokrát) více, než samostatný motor. Investice do nahrazení běžných motorů modely s nejvyšší účinností spolu s frekvenčními měniči má návratnost nad sto procent. Společnost ABB je jedním z největších světových výrobců elektrických motorů a frekvenčních měničů. Instalovaná základna měničů ABB celosvětově uspořila v roce 2013 více než 310 terawatt hodin (TWh) elektrické energie, což si můžeme představit jako roční spotřebu přibližně 32 milionů domácností ve Spojených státech. [10]

Tato diplomová práce se zabývá zatěžovacím stanovištěm, které obsahuje právě tyto elektrické pohony s měniči společnosti ABB. Konkrétně se jedná o měnič ACS800, což je nepřímý měnič frekvence s napěťovým meziobvodem, využívající pro své řízení metodu přímého řízení momentu DTC, a dále usměrňovač DCS800, jež je určen pro řízení stejnosměrných pohonů. DCS800 je vybaven dvěma antiparalelními šestipulzními můstky, které nám umožňují činnost pohonu ve všech čtyřech kvadrantech.

Tyto měniče jsou připojené k motorům. Měnič ACS800 řídí asynchronní motor s kotvou nakrátko a měnič DCS800 řídí stejnosměrný motor s cizím buzením. Hřídele těchto motorů jsou spojeny pomocí spojek, čímž spolu tvoří soustrojí. Součástí tohoto soustrojí je elektromagnetická brzda napájená stejnosměrným napětím. Tato brzda se odpojí automaticky, po připojení zařízení pod napětí hlavním vypínačem. Další důležitou součástí tohoto soustrojí je inkrementální snímač pro přesné měření otáček. Tento inkrementální snímač je připojen k měniči ACS800 přes jeho rozšiřující kartu RTAC-01.

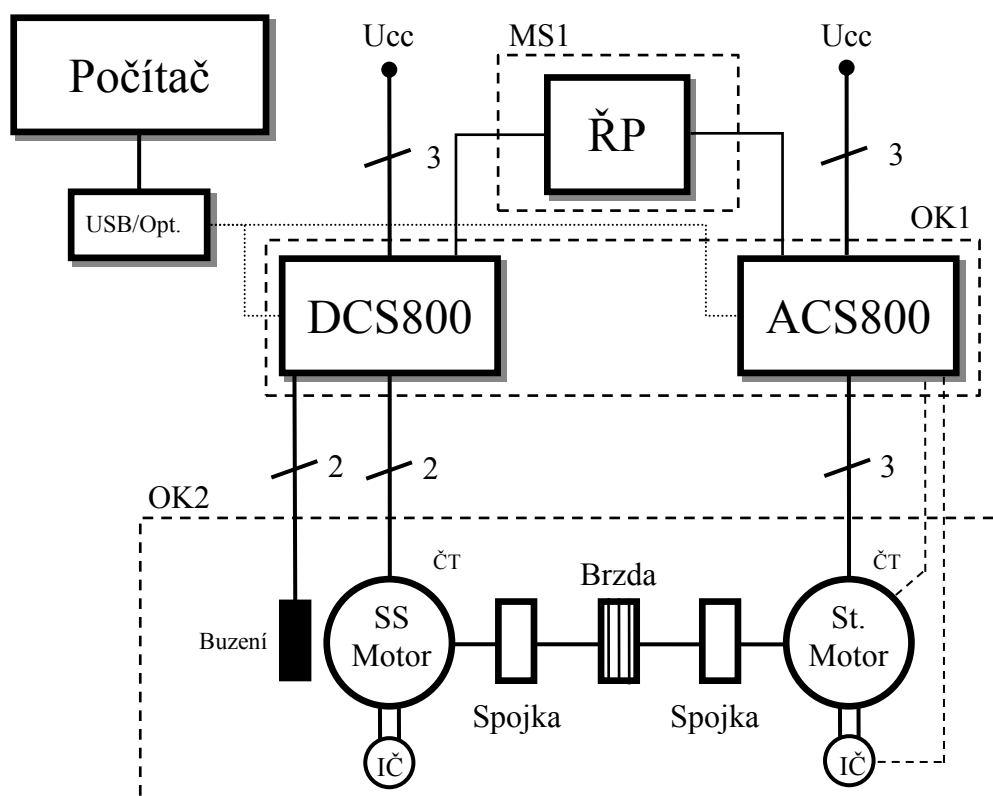
V První části této práce se zabývám rozbořem tohoto stanoviště a jeho nejdůležitějších částí. V další části specifikuji jeho možnosti, což dokládám experimentálními měřeními. Dále rozebírám možnosti použití tohoto stanoviště s ohledem na směr toku výkonů, což dokládám průběhy rekuperačního brzdění, při kterém vracíme energii přes čtyřkvadrantový usměrňovač zpět do sítě. A také uvádím průběhy napěťového meziobvodu měniče ACS800, jenž při navýšení napětí meziobvodu spíná braking chopper a přebytečnou elektrickou energii maří v brzděném odporu.

Výsledkem této práce jsou vzorové protokoly včetně experimentálních měření, přičemž bude možnost jejich využití při výuce a seznámení studentů s těmito měniči v průběhu studia. Výkresová dokumentace, spolu s dalšími průběhy, se nachází v příloze.

# 1 Rozbor zatěžovacího stanoviště

Zatěžovací stanoviště pro elektrický pohon s měniči firmy ABB slouží jako nástroj k demonstraci funkcí a možnosti řízení střídavého a stejnosměrného pohonu. Střídavý pohon tvoří polovodičový frekvenční měnič ASC800 s asynchronním motorem. Stejnosměrný pohon se skládá z řízeného čtyřkvadrantového usměrňovače DCS800 a stejnosměrného motoru s cizím buzením. Tyto motory jsou propojeny pružnou spojkou. Jsou použity dva rozdílné pohony, abychom si mohli prakticky vyzkoušet funkce a možnosti dvou rozdílných měničů. Měnič ACS800 obsahuje brzdný odpor pro možnost ukázky maření nadbytečné elektrické energie v napěťovém meziobvodu tohoto měniče. Braking chopper tento měnič obsahuje vestavěný. Typ měniče DCS800 je záměrně zvolen čtyřkvadrantový, abychom mohli vyzkoušet a předvést na tomto stanovišti rekuperační brzdění.

Oba tyto měniče podrobně specifikujeme níže. Zatěžovací stanoviště sestává ze tří základních částí, které v následujících podkapitolách popíšeme. Prvním konstrukčním celkem je stend s měniči a další potřebnou elektronikou definovaný jako rozvaděč OK1. Další konstrukční celek obsahuje stend s motory označovaný jako OK2. Poslední konstrukční celek se skládá z řídicího panelu s ovládacími prvky označený jako MS1. Tento panel používáme jako nástroj pro ovládání obou pohonů bez nutnosti připojovat počítač, či jiné zařízení. Blokové schéma zatěžovacího stanoviště můžeme vidět na obr. 1.1.

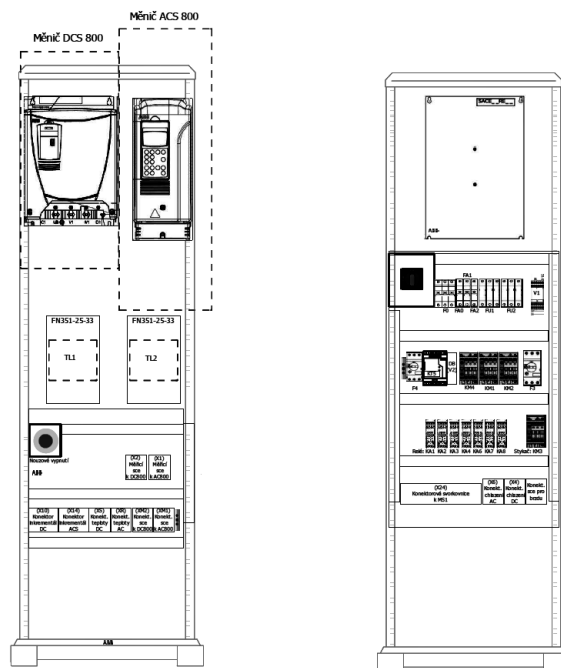


Obr. 1.1 Blokové schéma zatěžovacího stanoviště

ŘP - řídicí panel s ovládacími prvky  
 USB/Opt. - převodník DDCS (USB/Optika)  
 IČ - inkrementální snímač otáček  
 Ucc - napájení  
 ČT - čidlo teploty  
 SS Motor - stejnosměrný motor  
 St. Motor - střídavý motor

## 1.1 Rozvaděč OK1

OK1 je hlavním rozvaděčem zatěžovacího stanoviště. Jedná se o mobilní pojízdný stend, který obsahuje měniče řady ACS800 a DCS800. Dále se na tomto rozvaděči nachází vstupní filtr (resp. tlumivka), ovládací obvody s nutnými komponenty pro spínání (stykače a relé), brzdový odpor pro nepřímý měnič kmitočtu. Následně jsou na rozvaděči OK1 umístěny bezpečnostní relé připojené na nouzové vypínací tlačítko - emergency stop, (které se rovněž na rozvaděči nachází), jističe, pojistky, konektorové svorkovnice, zdroj na 24V DC a hlavní vypínač. OK1 je nekrytý rozvaděč typu PTTA s krytím IP00. Má napěťovou soustavu NPE AC 50Hz, 230V/400V/TN-S.



Obr. 1.2 Ukázka rozvaděče OK1

### 1.1.1 Technická data použitých měničů na rozvaděči OK1

#### Technická data měniče DCS800-S02-0025-04+L508

Napájecí napětí	230...400V
DC výstupní proud	25A
Výkon	10kW
Frekvence	50/60Hz
Proud buzení	6A,
Ztrátový výkon	0,11kW
Možnost přetížení	200%
Krytí	IP21
Pracovní teplota	0...40°C
Mústek	antiparalelní (4Q)
Přesnost měř. otáček	0.005% (v případě použití inkrementálního snímače)

Měření otáček ve zpětnovazební smyčce lze provádět pomocí:

- EMF
- analogového tachogenerátoru
- inkrementálního snímače

Digitální vstupy	8, (přidáním rozšiřujících karet až 14)
Digitální výstupy	8, (přidáním rozšiřujících karet až 12)
Analogové vstupy	4, (přidáním rozšiřujících karet až 6)
Analogové výstupy	3, (přidáním rozšiřujících karet až 5)

(Možnost dosáhnout ještě většího počtu I/O připojením modulu AIMA-01)

Podporovaná sériová komunikace (pomocí rozšiřujících modulů):

- Profibus
- Modbus
- CANopen
- ControlNet
- DeviceNet
- Ethernet

Použité přídatné karty:

+L508 = Module bus 10 Mbd (SDCS-COM-8x)

[4], [12]

### Technická data měniče ACS800-01-0005-3+L500+L502+L508

Napájecí napětí	3~ 380...415V
Vstupní frekvence	48...63Hz
Výstupní frekvence	0...300Hz
Výkon	3kW bez přetížení 2,2kW pro náročné použití (heavy-duty use)
Výstupní proud	8,5A
Maximální proud	10,8A
Možnost přetížení	150%
Účinnost	98%
Účinník	cos 0,93...0,95
Krytí	IP21
Pracovní teplota	-15...+50°C
Přesnost měř. otáček	0.005% (v případě použití inkrementálního snímače)

Měření otáček ve zpětnovazební smyčce lze provádět pomocí:

- inkrementálního snímače
- vyhodnocení z matematického modelu

Digitální vstupy	7, (přidáním rozšiřujících karet až 13)
Reléové výstupy	3, (přidáním rozšiřujících karet až 9)
Analogové vstupy	3, (přidáním rozšiřujících karet až 5)
Analogové výstupy	2, (přidáním rozšiřujících karet až 4)
(Možnost dosáhnout ještě většího počtu I/O připojením modulu AIMA-01)	

Nadmořská výška	0...1000m      bez omezení výkonu, 1000...4000m    s omezením výkonu
-----------------	---

Podporovaná sériová komunikace (pomocí rozšiřujících modulů):

- Profibus
- Modbus
- CANopen
- ControlNet,
- DeviceNet
- Ethernet

Použité přídatné karty:

- +L500 = Analog I/O extension module RAIO-01(analogově vstupně výstupní rozšiřující modul)
- +L502 = Pulse encoder interface module RTAC-01(modul pro připojení inkrementálního čidla)
- +L508 = DDCS communication 1 - RDCO-01 (optický komunikační modul)

### Brzdný odpor SACE 08 RE 44

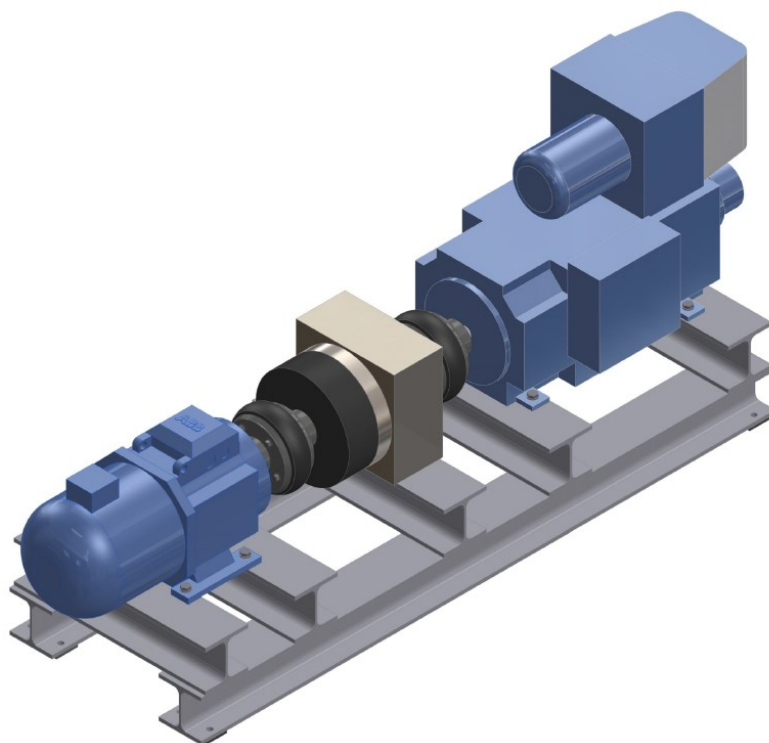
Hodnota odporu	44Ω
Časová konstanta přehřátí	200s

[2], [11]

## 1.2 Motorový stend OK2

Motorový stend OK2 je konstrukční celek, jenž obsahuje motory připevněné ke svařené ocelové konstrukci. Jedná se o asynchronní motor a stejnosměrný motor s budícím vinutím. Oba tyto motory mají cizí chlazení, jsou tedy nuceně chlazeny vzduchem. Hřídele těchto motorů spojujeme mechanickými pružnými spojkami. Mezi těmito motory se nachází elektromagnetická brzda, která slouží k zablokování otáčivého pohybu hřídelí obou motorů. Elektromagnetická brzda se automaticky odblokuje po přivedení napětí zapnutím hlavního vypínače. Po vypnutí hlavního vypínače brzda opět blokuje otáčivý pohyb. Můžeme takto například simulovat zabrzdění samovolného rozjezdu nakloněné výrobní linky. Soustrojí je rovněž vybaveno inkrementálním snímačem otáček, zabudovaným na společné hřídeli. Oba použité motory obsahují čidla pro měření teplot zabudované ve vinutích motorů.

Motorový stend OK2 spojujeme s rozvaděčem OK1 pomocí silových a datových kabelů. Silové kabely slouží pro napájení motorů, buzení stejnosměrného motoru a k napájení elektromagnetické brzdy. Datové kabely používáme pro inkrementální snímač a snímače teploty. Datové a silové vodiče by na delší vzdálenosti neměly vést vedle sebe, nýbrž minimálně padesát centimetrů od sebe. Jelikož v laboratorních podmínkách spojujeme rozvaděč OK1 a motorový stend pouze kabely o délce 10 metrů, toto zkreslení nebude natolik velké, aby narušilo korektnost přenášených signálů.



Obr. 1.3 Motorový stend OK2

### 1.2.1 Technická data použitých součástí motorového stendu OK2

#### **Stejnoseměrný motor s cizím buzením DMP 112-2MA:**

Napětí kotvy: 400 V  
Proud kotvy: 12 A  
Napětí buzení: 440 V  
Proud buzení: 0.95 A  
Výkon: 3,2 kW  
Otáčky: 1000 ot/min  
Moment: 31 Nm

#### **Asynchronní motor M3AA112 m:**

Napětí: 3x400 V, 50Hz  
Proud: 5, 4A  
Výkon: 2,2 kW  
Otáčky: 940 ot/min  
Moment: 22,35 Nm

#### **Elektromagnetická brzda:**

Napětí: 203 V DC  
Proud: 0.8 A  
Výkon: 160 W

#### **Ventilátor chlazení stejnosměrného motoru:**

Napětí: 3x400V, 50 Hz  
Proud: 0,63 A  
Výkon: 480 W  
Otáčky: 940 ot/min

#### **Ventilátor chlazení asynchronního motoru:**

Napětí: 3x400 V, 50Hz  
Proud: 0,63 A  
Výkon: 480 W  
Otáčky: 940 ot/min

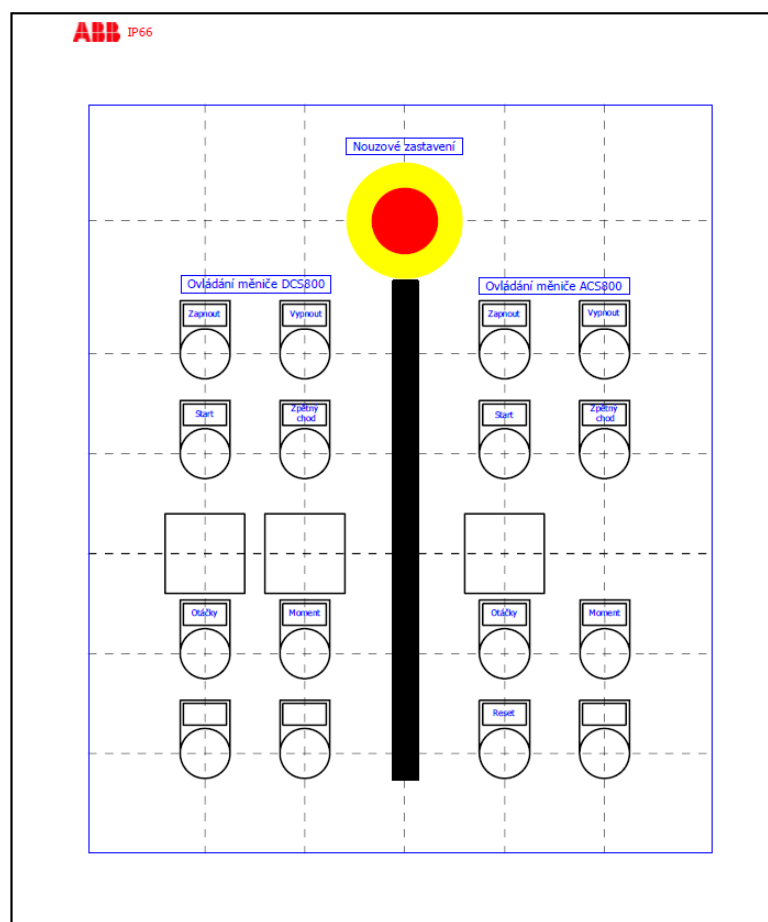
#### **Inkrementální snímač:**

Napájecí napětí: 9 V...30 V  
Počet pulsů na otáčku: 2048



### 1.3 Řídicí panel s ovládacími prvky MS1

Řídicí panel s ovládacími prvky MS1 (Remote control panel) definujeme jako podružný ovládací rozvaděč. Jedná se o OCEP rozvaděč napájený ze 24V DC. Obsahuje ovladače a sdělovače pro ovládání měřícího stanoviště. Krytí tohoto řídicího panelu je IP 66 a krytí IP 40 při otevřených dvířkách. Řídicí panel viditelně rozdělujeme na dvě části pro každý měnič. Ovladače na levé polovině slouží pro ovládání pohonu přes stejnosměrný měnič DCS800, ovladače na pravé straně ovládají pohon přes střídavý měnič ACS800. Každý měnič má ovladače On a Off, sloužící pro zapnutí a vypnutí, otočné ovladače pro start pohonu, a také otočné ovladače k reverzaci směru. Dále můžeme na ovládacím panelu vidět analogové panelové sdělovače, jenž nám v procentuální hodnotě ukazují hodnotu skutečné rychlosti a pro stejnosměrný měnič také maximální nastavený limit momentu. Pod sdělovači vidíme potenciometry pro nastavování reference rychlosti a pro nastavení již zmíněného maximálního limitu momentu. Ve spodní části panelu se nachází tlačítko reset, které je společné pro oba měniče. Jako poslední součást vidíme na řídicím panelu bezpečnostní nouzové tlačítko (emergency stop), sériově napojeno na bezpečnostní nouzové tlačítko na rozvaděči. Obě tlačítka tedy plní totožnou funkci. Řídicí panel spojuje s rozvaděčem OK1 čtyřicetipinový vodič s konektorem.



Obr. 1.4 Řídicí panel s ovládacími prvky MS1

## 2 Popis nejdůležitějších použitých komponentů

V následujících kapitolách popíšeme detailněji nejdůležitější použité komponenty zatěžovacího stanoviště.

### 2.1 ACS800

ACS800 je průmyslový frekvenční měnič firmy ABB. Jedná se o klasický nepřímý měnič frekvence obsahující diodový usměrňovač napěťový meziobvod a střídač s IGBT tranzistory. V meziobvodu se nachází vyhlazovací kondenzátor. Na vstupu měniče kmitočtu používáme diodový usměrňovač, což neumožňuje rekuperaci energie zpět do sítě. Nabíjení kondenzátoru v meziobvodu touto energií by vedlo k rychlému a značnému nárůstu jeho napětí. Proto ke kondenzátoru paralelně připojujeme, dalším výkonovým polovodičovým spínacím prvkem (braking chopper), brzdňý odpor v případě, že napětí meziobvodu překročí nastavenou mez. Činná energie, generovaná brzdícím asynchronním strojem, se poté maří v brzděném odporu.

Nepříznivé účinky střídače na zátěž souvisejí s vyššími harmonickými složkami. Kromě toho mají měniče kmitočtu také nepříznivý vliv na napájecí síť. Nežádoucí vlivy bývají největší při použití vstupních diodových usměrňovačů, za jejich příčinu můžeme označit nepříznivý průběh proudu. Proud má v tomto případě tvar pulzů, které dobíjejí přes usměrňovač kondenzátor v meziobvodu. Aby se tyto vlivy měniče kmitočtu minimalizovaly, připojuje se na jeho vstup LC filtr. Jeho nevýhodu nacházíme ve zvýšení odebíraného jalového výkonu. [1], [3]



Obr. 2.1 Měniče řady ACS800 [11]

Měniče řady ACS800 jsou nejčastěji používány pro průmyslové aplikace v odvětvích výroby papíru, zpracování kovů, hornictví, výroby chemikálií, těžby ropy a zemního plynu. Tyto měniče mají řadu externích karet, takže mohou být konfigurovány pro splnění přesných potřeb zákazníka. Konfiguraci tedy bereme jako nedílnou součást nabídky. Měniče ACS800 společnost ABB vyrábí se širokou škálou rozsahu napětí a výkonů od 0,55 až 5600kW. Zásadní výhodu těchto měničů shledáváme v možnosti jejich naprogramování, což má za následek jednoduché přizpůsobení různým aplikacím. Měniče ASC800 využívají pro své řízení metodu přímého řízení momentu DTC, jenž si podrobněji probereme níže. Přímé řízení momentu DTC poskytuje výhody přesného nastavení dynamické a statické rychlosti i momentu. Rovněž pracuje s vysokým rozběhovým momentem. [11]

#### **Přednosti měniče řady ASC800:**

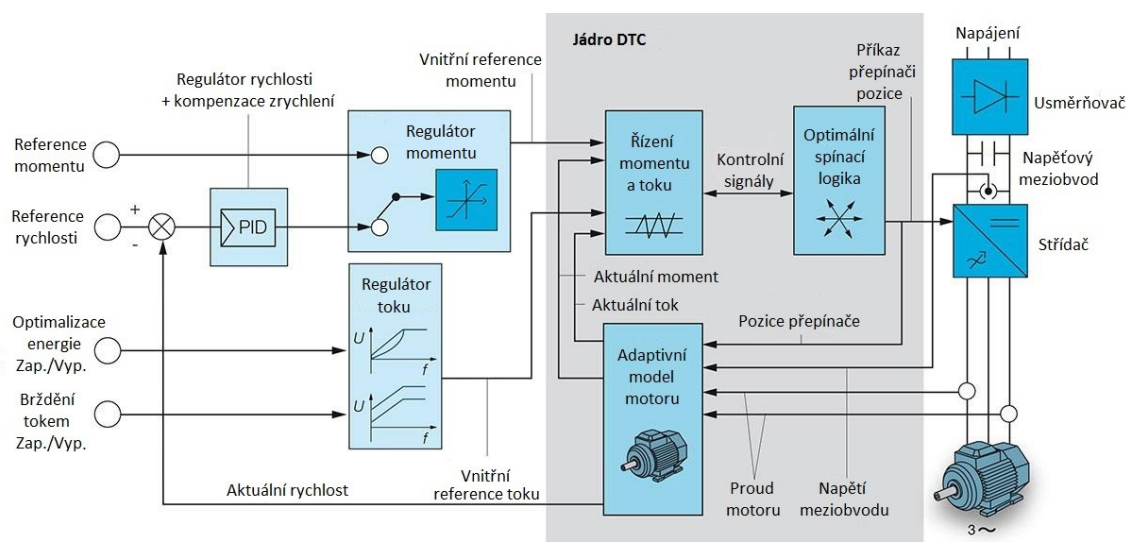
- Kompaktní rozměry – Potřebujeme pouze malý prostor po montážní práci
- Vestavěný harmonický filtr – Zvýšení kvality sítě a stabilizace síťového napětí
- Široká škála uplatnění – Univerzálnost pohonu pro splnění většiny potřebných aplikací
- Možnosti brzdění – ACS800 má vestavěný braking chopper, což ušetří prostor i peníze
- Přátelské uživatelské rozhraní – Snadné a rychlé uvedení do provozu (možnost využít Start-up asistenta, který je průvodcem základních nastavovacích procedur)
- Využití univerzálních připojení pro komunikaci – Standardní systém I/O pokrývá většinu požadavků. Možnost připojení k nejběžněji používaným sběrnicím
- Programovatelnost – Ke klasickému parametrování přidána možnost adaptivního programování. Všechny vstupy i výstupy jsou programovatelné
- Široký rozsah výkonů a napětí – Jeden produkt pokryje potřeby více aplikací, což znamená méně školení a možnost použití standardních náhradních dílů
- Široká škála dostupných robustních krytů – Pro využití v odlišných prostředích.
- Galvanické oddělení vstupů a výstupů – Bezpečný a spolehlivý provoz bez zvláštních izolačních zařízení a relé

[11]

#### **2.1.1 DTC – Metoda přímého řízení momentu**

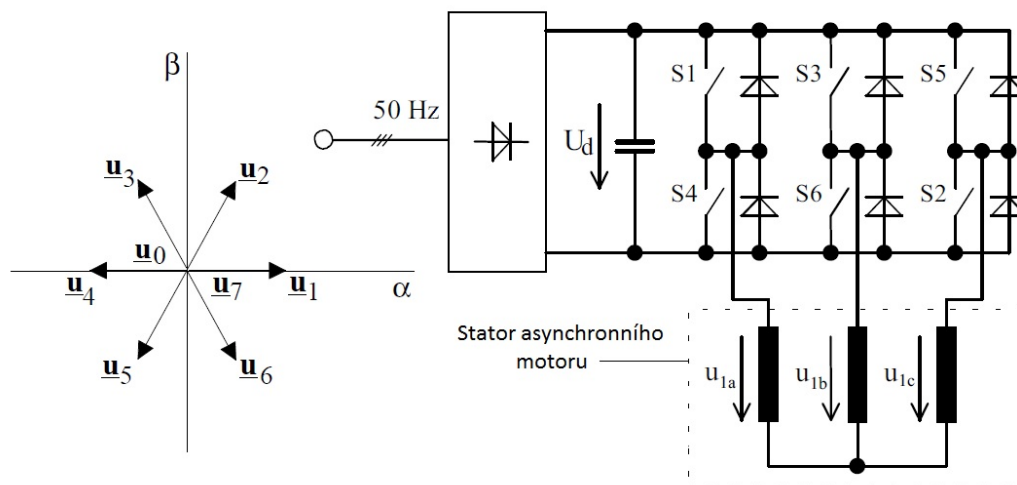
Metoda přímého řízení momentu střídavého stroje je specifická oproti vektorovému řízení především větší jednoduchostí, což následně umožňuje snadnou implementaci na řídicí mikropočítač. Na obr. 2.2 můžeme vidět blokové schéma metody řízení momentu, jehož jádro

spočívá v řízení momentu a magnetického toku pomocí hysterezního regulátoru, využívající optimalizovanou spínací logiku. Další klíčovou částí při řízení je přesný adaptivní model motoru. V adaptivním modelu motoru vypočítáváme skutečný moment, magnetický tok a otáčky hřídele. Výpočty provádíme na základě dvou fází motoru a ze stejnosměrného napětí meziobvodu. Tyto výpočty probíhají velmi často cca. 40 000krát za sekundu, takže daný systém přesně zná chování hřídele motoru. Přesnost uvedeného modelu závisí na identifikačním běhu, prováděném při uvádění pohonu do provozu. Nejdůležitější parametry modelu motoru jsou proměnné parametry náhradního obvodu motoru. Nesmí být zanedbán vliv teploty i sycení. Skutečné hodnoty momentu porovnáváme s referenčními, z čehož generujeme řídicí signály dvouúrovňové hysterezní logiky. Regulační cyklus probíhá velmi krátký okamžik - cca. 25 $\mu$ s, což má za důsledek vysokou kvalitu řízení. DTC neobsahuje samostatný pulzně šířkový modulátor, pro řízení napětí a frekvence. Optimální spínací logiku zde realizujeme procesorem ASIC (Application Specific Integrated Circuits - Aplikačně specifické integrované obvody). Referenční hodnoty pro větve silového modulu definujeme výstupem z této logiky. Skutečnou velikost a polohu napěťového vektoru získáme pomocí výpočtu ze zpětnovazebních informací o stavu výkonových součástek. [6] [8]



Obr. 2.2 Blokové schéma metody přímého řízení momentu a magnetického toku se spínací logikou a matematickým modelem motoru [7]

Hysterezní řízení momentu a statorového toku DTC používá teorii vektorového řízení a teorii přímého řízení. Při popisu veličin motoru používáme jejich zobrazení ve tvaru prostorových vektorů. Vektory toku, proudu a vektory napětí motoru zobrazujeme ve statorových souřadnicích. Na jednotlivých fázích statoru asynchronního motoru se objevují napětí dle spínací kombinace. Napěťový střídač poskytuje pouze osm korektních spínacích kombinací, kterým podle teorie o komplexních vektorech odpovídá osm napěťových vektorů  $\underline{u}_0$  až  $\underline{u}_7$ , jak můžeme vidět na obr. 2.3. Absolutní hodnotu vektoru statorového toku udržujeme ideálně konstantní a moment motoru je řízen velikostí úhlu mezi vektory statorového a rotorového toku. [6] [8]



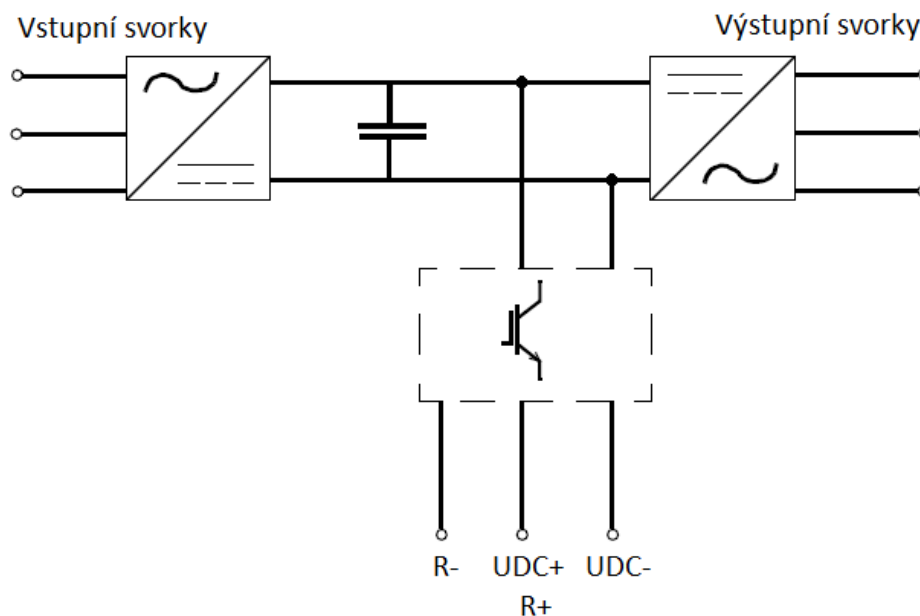
Obr. 2.3 Schéma prostorových vektorů a nepřímého měniče frekvence s napěťovým meziobvodem [6]

Běžná časová konstanta rotoru standardního indukčního stroje nejčastěji bývá větší než 100ms, tudíž je rotorový tok velmi vyhlazený a mění se ve srovnání se statorovým tokem podstatně pomaleji. Tohoto můžeme využít k dosažení požadovaného momentu pomocí ovládání jen vektoru statorového toku v potřebném směru. Jestliže potřebujeme zvětšit moment, požadujeme takový způsob sepnutí měniče, který co nejrychleji dosáhne požadované velikosti. Což nám umožňuje řízení okamžité hodnoty vektoru statorového toku výstupním napětím střídače. Spínací logický obvod určuje nejvýhodnější vektor napětí podle referenční a skutečné hodnoty momentu. Při výběru sepnutí spínačů bereme rovněž v úvahu absolutní délku vektoru statorového toku (jeho velikost).

Díky těmto vlastnostem má přímé řízení momentu DTC extrémně rychlou momentovou odezvu (až pod 2ms), a taktéž velmi rychlou reverzaci. Moment vykazuje linearitu v celém rozsahu otáček. Přesnost otáček je dobrá v celém otáčkovém rozsahu, a to i za předpokladu, že nepoužijeme zpětnovazební otáčkové čidlo. Další přednosti DTC jsou: možnost překlenout krátkodobý výpadek napájecí sítě, letmý start, potlačení momentových rázů, optimalizace magnetického toku motoru a brzdění tokem. [8]

### 2.1.2 Brzdný odpor

Jak již bylo napsáno, použitý měnič ASC800 neumožňuje, kvůli diodovému můstku rekuperaci. Je tedy nutné tuto energii někde mařit. Brzdný odpor zapojujeme přes braking chopper. Zapojení braking chopperu můžeme vidět na obr. 2.4. Brzdný odpor připojujeme ke svorkám R+ a R-. Braking chopper připojí brzdný odpor v případě, že napětí meziobvodu překročí stanovenou hodnotu. [3]



Obr. 2.4. Zapojení braking chopperu [3]

### Jak zvolit správnou kombinaci měnič/chopper/rezistor

1. Je nutno vypočítat maximální výkon ( $P_{max}$ ) vygenerovaný motorem při brzdění.

$$P_{max} < \frac{U_{DC}^2}{R}$$

2. Podle tabulek v hardware manuálu musíme zvolit pro aplikaci vhodnou kombinaci měnič / chopper / brzdový rezistor. Musí být splněna následující podmínka:

$$P_{br} \geq P_{max}$$

přičemž  $P_{br}$  značí výkon brzdného odporu v závislosti na pracovním cyklu

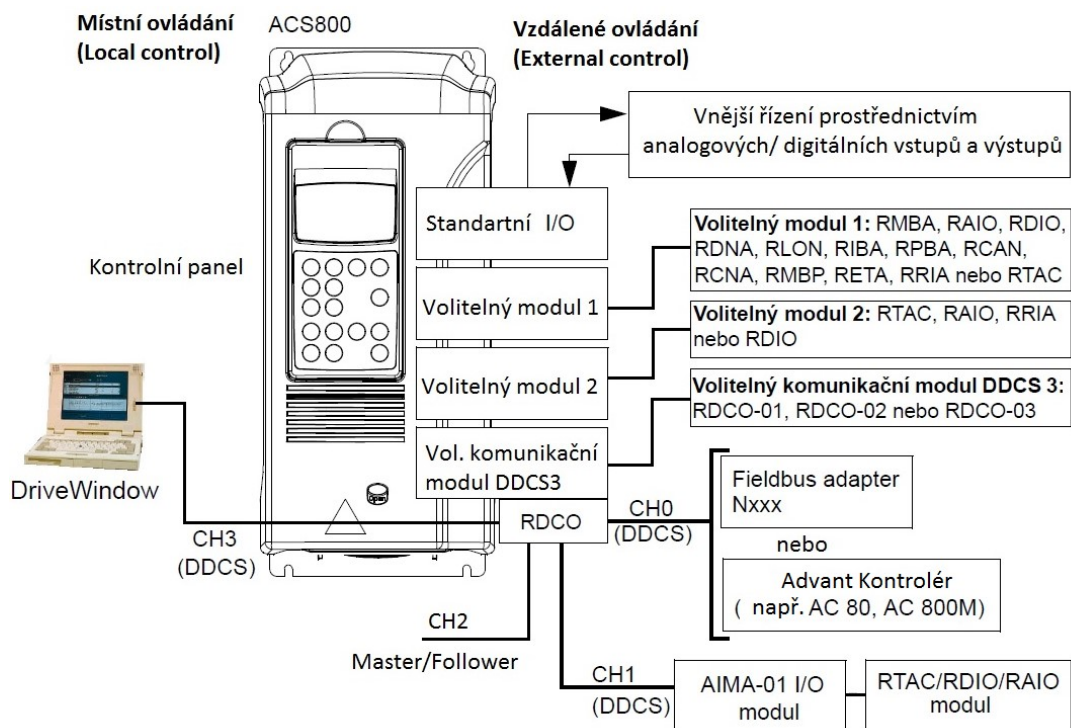
3. Nutnost zkontrolovat volbu rezistoru. Energie vygenerovaná motorem během intervalu 400 sekund, nesmí překročit hodnotu povolené výkonové ztráty na odporu  $E_R$ . Není-li hodnota  $E_R$  dostatečná, je možné použít sestavu čtyř rezistorů, ve které jsou dva standardní rezistory zapojeny paralelně a dva v sérii (hodnota  $E_R$  je rovněž uváděna v manuálu pro každý brzdový odpor). [3]

### Uvádění brzdového obvodu do provozu

- Je nutno uvolnit funkci braking chopperu (parametr 27.01).
- Je nutno vypnout hlídání přepětí měniče (parametr 20.05).
- Musíme zkontrolovat nastavení hodnoty rezistoru (parametr 27.03).

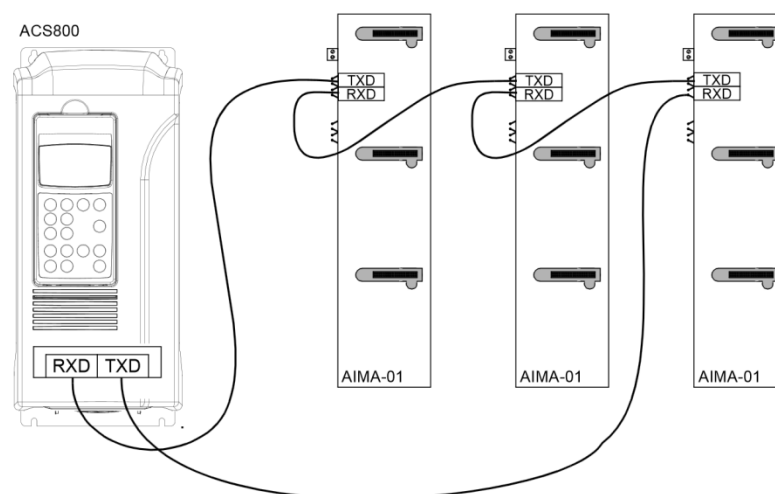
### 2.1.3 Rozšiřující moduly ACS800

Rozšiřujících karet existuje celá řada. Tyto přídatné karty můžeme jednoduše identifikovat podle typového kódu měniče, podle voleb (+xxx), což je v našem případě **ACS800-01-0005-3+L500+L502+L508**. Veškerá komunikace měniče s okolím a řízení motoru je řešena na kartě RMIO, která je napájena ze silové části uvnitř měniče. Měnič ACS800 (na kartě RMIO), má tři sloty pro volitelné moduly, přičemž do konkrétního slotu můžeme dát pouze určité karty. Pro lepší přehlednost jsem vytvořil schéma, které můžeme vidět na obr. 3.5. Do slotu 1 můžeme dát, kromě klasických analogově digitálních rozšíření, řadu karet pro komunikaci s nejběžnějšími sběrnicemi např. CANopen, Ethernet powerLink, Ethernet IP, Modbus TCP, Profinet a další. Slot 2 slouží pro přidání klasických analogově digitálních rozšíření, včetně karty pro inkrementální čidlo. Do slotu 3 jde dát pouze komunikační karta RDCO, která má čtyři optické vstupně výstupní kanály (CH0 až CH3). Možnosti připojení taktéž vidíme na přiloženém schématu. Na našem zatěžovacím stanovišti používáme pouze kanál 3 (CH3) pro připojení komunikace s PC. V případě, že bychom pro naše potřeby (včetně využitých volitelných modulů) měli málo analogových či digitálních vstupů, stačí si pořídit modul AIMA-01, jenž připojíme optickým kabelem ke kanálu 1(CH1). Tento modul obsahuje další tři volitelné sloty. Při kruhovém zapojení optických linek spolu s měničem můžeme zapojit i více těchto adaptérů, jak vidíme na obr. 2.6. Kanál 2 (CH2) slouží pro komunikaci více měničů v režimu Master/Follower (Spolupráce více měničů). Kanál 0 (CH0) slouží pro optické připojení ke komunikačnímu protokolu z rodiny Fieldbus, či pro připojení k PLC pomocí Advant kontrolérů. [3] [11]



Obr. 2.5. Schéma možností připojení volitelných modulů ACS800 na kartě RMIO [3]





Obr. 2.6 Přídavné moduly AIMA-01 zapojeny do kruhu [3]

**Pro naši potřebu byly do zatěžovacího stanoviště vybrány tyto moduly:**

- +L500 = Analog I/O extension module RAIO-01(analogově vstupně výstupní rozšiřující modul)
- +L502 = Pulse encoder interface module RTAC-01(modul pro připojení inkrementálního čidla)
- +L508 = DDCS communication 1 - RDCO-01 (optický komunikační modul)



Obr. 2.7 Použité přídavné karty RAIO-01 a RTAC-01 [11]

## 2.1.4 Ovládání ACS800

Ovládání měniče ACS800, a potažmo celého zatěžovacího stanoviště, je možné provádět třemi způsoby. Přes ovládací panel s řídicími prvky (Remote control panel) nebo přes PC pomocí softwaru DriveWindow, či DriveWindow Light. Možnost ovládání pomocí softwaru je provedena v samostatné kapitole níže. V této části bych se chtěl věnovat ovládání přes ovládací panel s řídicími prvky a řídicí panel CDP312R.



## Ovládání pomocí ovládacího panelu s řídícími prvky MS1

Ovládání měniče ASC800 z panelu MS1 se nachází na jeho pravé straně, jak můžeme vidět na obr. 1.3.

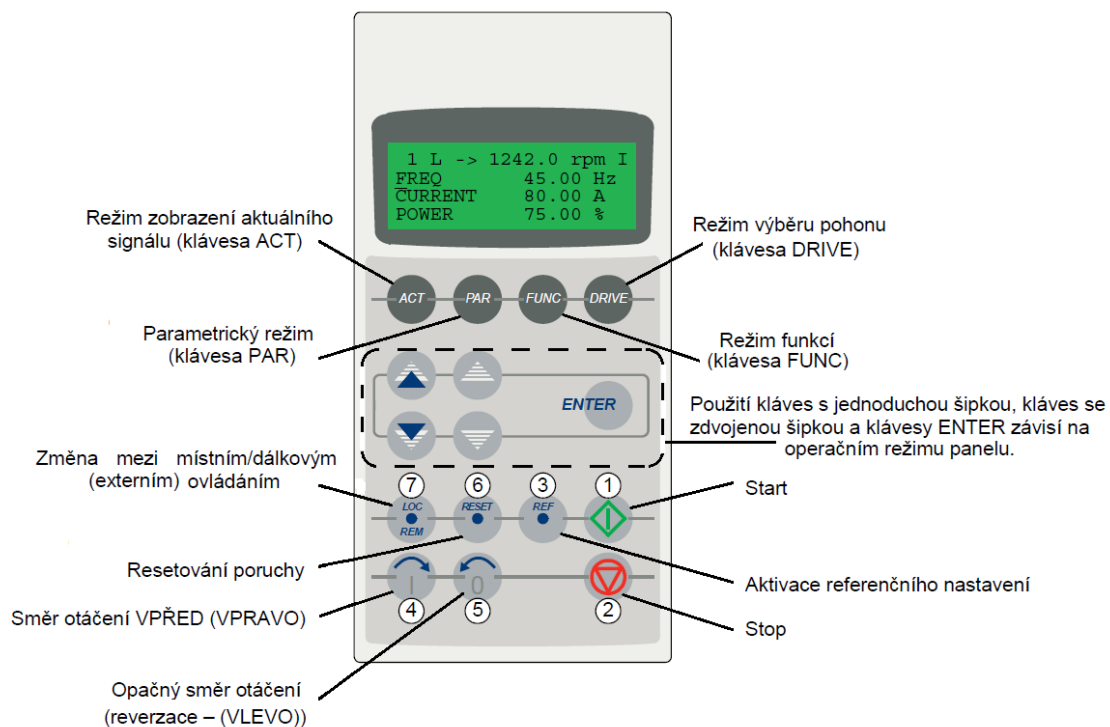
Přesvědčte se, že síťová vidlice je zapojena v zásuvce, hlavní vypínač **Q1** je v poloze zapnuto, oba spínače nouzového zastavení nejsou aktivovány (musí být v povytažené poloze). Zkontrolujte, zda jsou motory správně připojeny a také se přesvědčte o správném nastavení parametrů daných motorů v měničích.

Tlačítkem **RESET** potvrďte vynulování a aktivaci bezpečnostního relé. Bez tohoto úkonu pohony nepůjdou spustit. Tlačítkem **ON** (krajní zprava) se zapíná měnič ACS800. Toto avizuje sepnutí stykače KM2 a spouštění chladicího ventilátoru v měniči. Motor se spouští ovladačem **START** jeho otočením do polohy vpravo. Potenciometrem **SPEED REF** se nastavuje požadovaná rychlost otáčení a potenciometrem **TORQ REF** nastavujeme maximální limit momentu. Směr otáčení lze měnit knoflíkem **FWD/BWD** a to i během chodu motoru. Měnič se vypne ovladačem start (doleva) a poté stisknutím tlačítka **OFF**. Během všech měření je potřeba dbát zvýšené opatrnosti a nepřibližovat se k rotujícím částem soustrojí.

## Ovládání pomocí řídícího panelu CDP312R

Tento panel můžeme vidět na obr. 3.7. Má čtyři řádky po dvaceti znacích. Jazyk tohoto panelu volíme při spouštění (jinak parametr 99.01). Ovládací panel disponuje čtyřmi provozními režimy: režim aktuálního signálu, parametrický režim, režim funkcí a režim výběru pohonu.

Uživatel má možnost na panelu provádět operace startování, zastavování, či měnit směr otáčení. Může zadávat referenční otáčky motoru nebo referenční točivý moment. Dále jde z panelu restartovat poruchová či varovná hlášení. Panel může být použit pro ovládání pohonu, a to pouze, když je v režimu místního ovládání (Local). Tento režim poznáme podle písmene L ve stavovém řádku na display. Jestliže chceme zadávat referenční otáčky, stiskneme tlačítko REF, a poté můžeme měnit šipkami hodnotu. Dvojítkami šipkami měníme hodnotu rychle, zatímco obyčejnými pomalu. Nastavenou referenci potvrdíme tlačítkem ENTER. Vrácení do režimu zobrazení aktuálních hodnot provedeme stiskem tlačítka ACT. Do režimu aktuálních signálů se měnič převede pokaždé, jestliže nikdo nezmáčkne na řídícím panelu žádnou klávesu po dobu jedné minuty. [3]



Obr. 2.8. Řídicí panel CDP312R měniče ACS800 [3]

## 2.2 DCS800

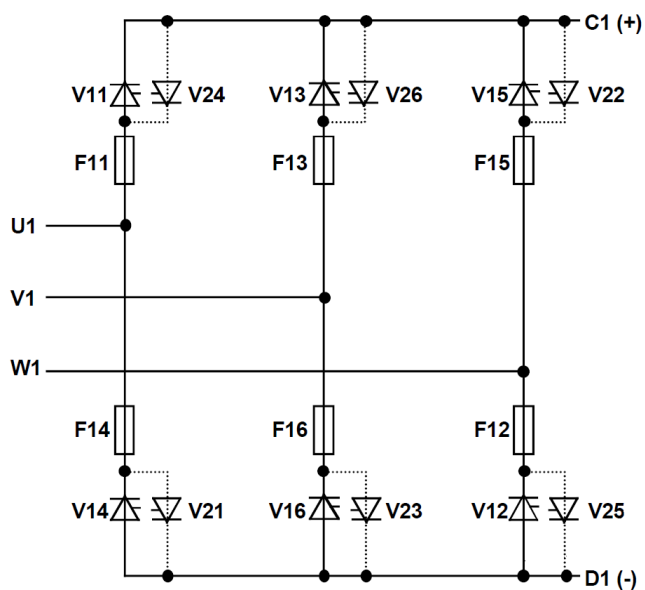
DCS800 je stejnosměrný měnič s dvěma šestipulzními antiparalelními můstky, umožňující činnost pohonu ve všech čtyřech kvadrantech. Tento měnič kombinuje výkonný řídicí obvod s výkonnou tyristorovou platformou, je využíván k nespočtu aplikací po celém světě. DCS800 má široké možnosti řízení výstupního výkonu a umožňuje jeho nasazení v aplikacích s nejvyšší dynamikou. Obsahuje vnitřní třífázový budič, a není tedy nutné jej připojovat externě, ačkoli pro speciální aplikace je to možné.

Obdobně jako měnič ACS800 můžeme měnič DCS800 obsluhovat, nastavovat parametry a ladit pomocí komunikační DDCS karty připojené k počítači, či notebooku. [5] [12]



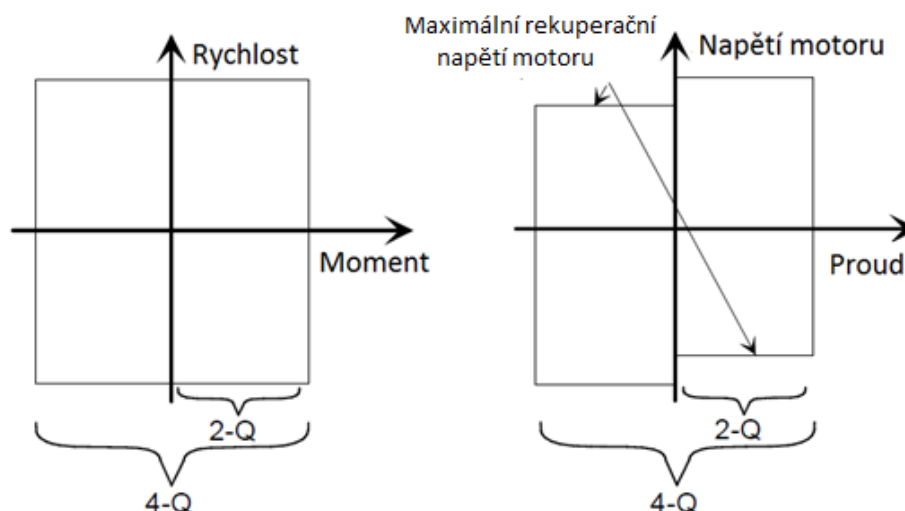
Obr. 2.9 Měniče řady DCS800 [12]

Měniče řady DCS800 jsou vybaveny funkcí snadného použití (Easy-to-Use), které šetří zákazníkům čas, peníze a snižuje náklady potřebné na školení na minimální. Tato funkce je založena na třech základních bodech. Prvním bodem je vybavenost měniče makry, které obsahují nejčastější nastavení parametrů. Dále obsahuje průvodce, prostřednictvím kterého se nastaví parametry v průběhu uvedení do provozu a také automaticky vyladí regulátory. A posledním bodem je adaptivní programování, jenž dává velmi flexibilní sadu blokových funkcí, které pomáhají řešit problémy při uvádění do provozu. [5]



Obr. 2.10 Základní zjednodušené schéma měniče DCS800 [5]

Čtyřkvadrantový usměrňovač oproti dvoukvadrantovému umí měnit otáčky i moment v obou směrech. U dvoukvadrantového usměrňovače také není možné náhle zastavit zátěž. Takováto zátěž se zastaví pouze třením, odporem větru, či jiným odporem. U tohoto usměrňovače také není možné reverzovat směr otáčení. Srovnání těchto usměrňovačů můžeme vidět na obr. 2. 11. Měníče DCS800 se v průmyslu nejčastěji používají jako stop - start dopravníky, ve válcovnách, pro odvíjecí stroje a pro jeřáby. [12]



Obr. 2.11 Srovnání dvoukvadrantového a čtyřkvadrantového usměrňovače [5]

#### **Základní funkce měniče řady DCS800:**

- DCS800 je vybaven makry, které obsahují nejčastější nastavení parametrů.
- Průvodce prostřednictvím nastavení parametrů v průběhu uvedení do provozu a také auto-ladění regulátorů.
- Adaptivní programování dává velmi flexibilní sadu blokových funkcí, které řeší problémy při uvádění do provozu – až 16 programovacích bloků.
- Optimální přizpůsobivost – malá PCL přímo uvnitř měniče – jenž dává možnost přizpůsobení chování měniče.
- Různé strmosti rampy
- Regulace rychlosti
- Řízení momentu
- Ovládání proudu kotvy

- Ovládání budicího proudu
- Emergency stop funkce dle standardu PROFIBUS
- Rozhraní pro průmyslové sběrnice
- Programovatelné digitální a analogové výstupy
- Funkce Master-Follower (spolupráce více měničů)
- Rozhraní pro programování IEC 61131

#### **Ochrany motoru:**

- Teplotní model motoru
- 2 kanály pro měření teploty motoru PTC termistorem nebo PT100
- Chyba zpětné vazby rychlosti
- Překročení nominální rychlosti (overspeed)
- Zvlnění proudu kotvy
- Nadproud kotvy

[12]

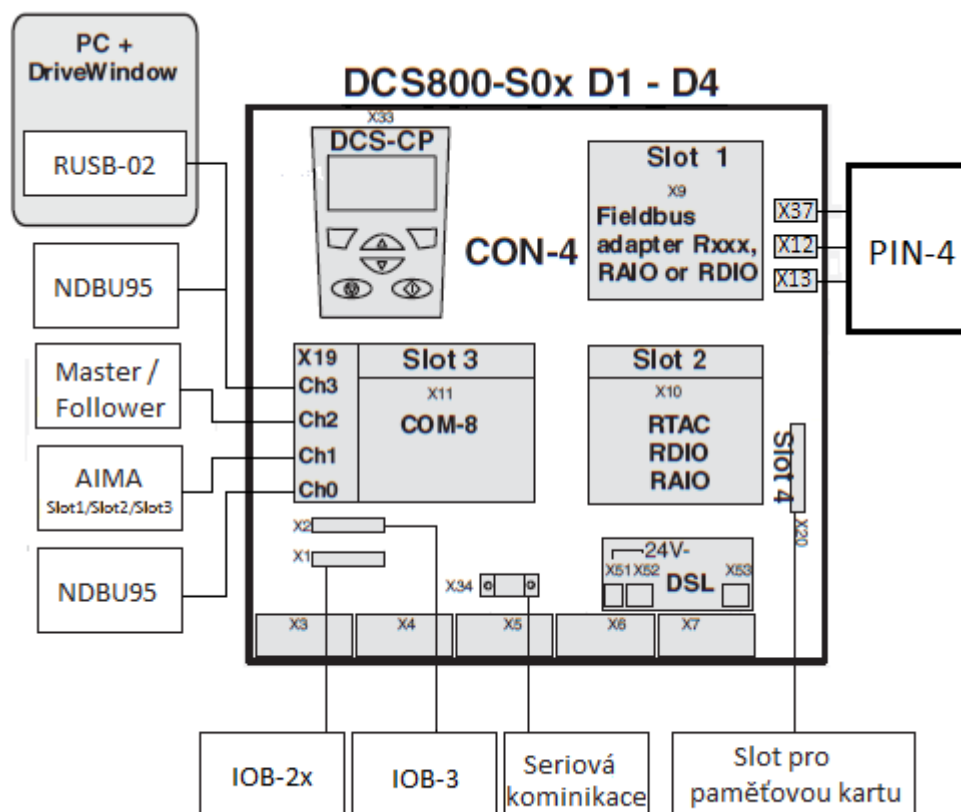
### **2.2.1 Řídicí deska SDCS-CON-4 a rozšiřující moduly**

Řídicí deska SDCS-CON-4 řídí všechny řídicí signály pro připojení měniče s okolními periferiemi. Obsahuje řídicí panel DCS-CP, který je připojený ke konektoru X33. Připojení k desce silových částí SDCS-PIN-4 jejíž význam zmiňuji níže a vstupně výstupní porty a sloty pro přídatné karty. Na obr. 2. 12 můžeme vidět schéma řídicí desky SDCS-CON-4. Základní deska SDCS-CON-4 má sedm základních vstupně výstupních portů X1 až X7. Port X1 slouží pro připojení rozšiřující karty IOB-2x. Port X2 slouží pro připojení rozšiřující karty IOB-3. Port X3 slouží pro připojení analogového tachy, pro zpětnou otáčkovou vazbu nebo jako analogové vstupy. Další port X4 slouží pro analogové vstupy či výstupy jejichž význam nastavíme pomocí parametrů. Port X5 slouží pro připojení otáčkového čidla a porty X6 a X7 jsou digitální vstupy a výstupy, jejichž význam taktéž nastavíme pomocí parametrů.

Obdobně jako u ACS800 existuje celá řada rozšiřujících karet, které taktéž odhalíme hned z názvu měniče (+xxxx), což je pro tento měnič **DCS800-S02-0025-04+L508**. Z tohoto můžeme vidět, že měnič obsahuje pouze jedinou přídatnou volbu a to komunikační kartu SDCS-COM-8.

Do slotu 1 je možné připojit adaptér pro fieldbus sběrnice nebo rozšíření analogových, či digitálních vstupů a výstupů pomocí přídatných karet RAIO a RDIO. Slot 2 je možno použít pro připojení přídatných karet pro další analogové, či digitální vstupy, či výstupy nebo pro připojení otáčkového čidla přídatnou kartou RTAC. Slot 4 slouží pro připojení externí

paměťové karty. Řídicí deska obsahuje také port X34, sloužící pro připojení sériové linky, kterou můžeme připojit k notebooku či PC. [5]



Obr. 2.12 Schéma možností připojení volitelných modulů DCS800 na kartě SDCS-CON-4 [5]

Do slotu 3 Můžeme připojit kartu SDCD-COM-8, sloužící pro optickou komunikaci s vnějšími zařízeními. Tato karta má 4 optické kanály (a to kanál Ch0 až Ch3). Kanál Ch0 je možno připojit k jednotce NDBU95, jež slouží pro připojení měniče s PLC. Kanál Ch1 slouží pro připojení modulu AIMA, obsahující další sloty pro rozšiřující karty. Funkci tohoto modulu jsem již vysvětlil u měniče ACS800. Kanál Ch2 slouží pro připojení dalších měničů pro práci v režimu Master / Follower (spolupráce více měničů). A poslední kanál slouží opět buď k připojení PLC, anebo pro připojení k PC pomocí modulu RUSB-02.

Porty X37, X12 a X13 slouží pro připojení desky silových částí SDCS-PIN-4, kterou můžeme vidět na Obr. 2.13. Tato deska obsahuje ovládací a výkonovou část. Deska SDCS-PIN-4 má za úkol dodávat napětí řídicí desce SDCS-CON-4 a dalším rozšiřujícím modulům. Řídit proud buzení a tento proud také měřit. Upravovat a oddělovat řídicí impulzy a měřit ostatní potřebné veličiny. Deska SDCS-PIN-4 umí automaticky detekovat úroveň pomocného vstupního napětí 230/115V pro napájení obvodů. [5]



## Ovládání pomocí ovládacího panelu s řídícími prvky MS1

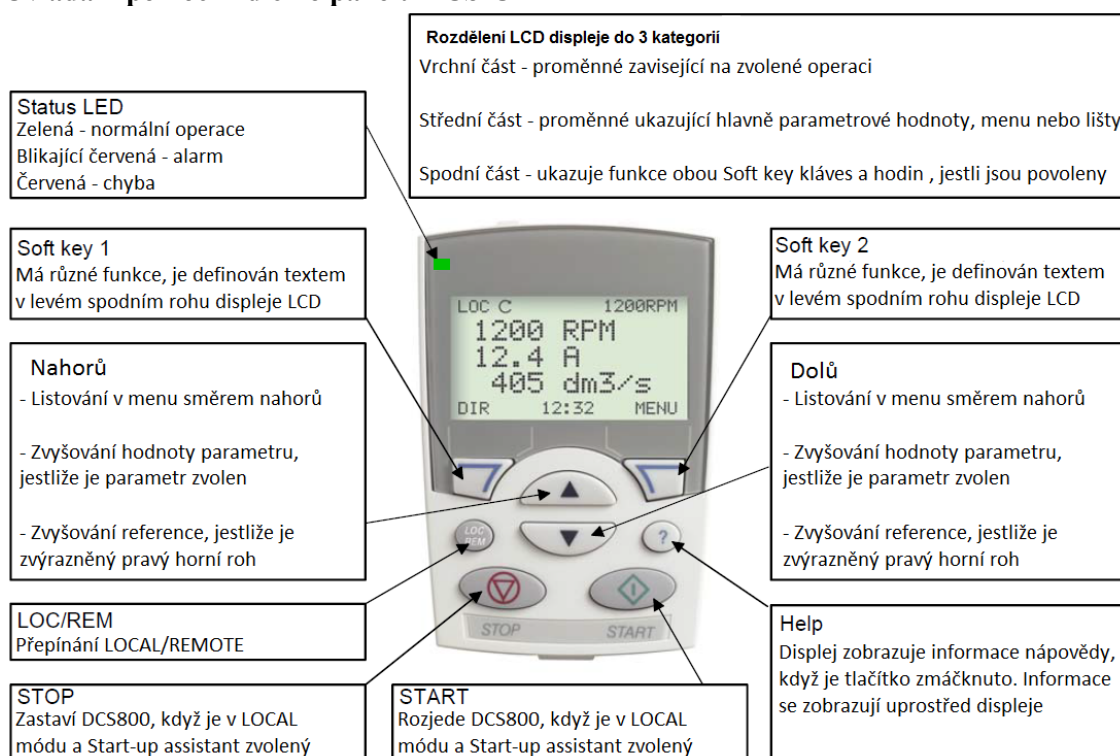
Ovládání měniče DCS800 z panelu MS1 se nachází na jeho levé straně, jak můžeme vidět na obr. 1.3.

Přesvědčte se, že síťová vidlice je zapojena v zásuvce, hlavní vypínač **Q1** je v poloze zapnuto, oba spínače nouzového zastavení nejsou aktivovány (musí být v povytažené poloze). Zkontrolujte, zda jsou motory správně připojeny a také se přesvědčte o správném nastavení parametrů daných motorů v měničích.

Tlačítkem **RESET** potvrďte vynulování a aktivaci bezpečnostního relé. Bez tohoto úkonu pohony nelze spustit. Tlačítkem **ON** (krajním zleva) se zapíná buzení pohonu, tlačítkem **OFF** se buzení vypíná. Při zapnutém buzení otočením ovladače start doprava se aktivuje proud do kotvy. Ovladačem **FWD/BWD** se mění směr točení motoru, což lze provádět i během chodu. Otáčením potenciometru **SPEED REF** se volí požadované otáčky. Jejich hodnotu můžeme určit z ukazatele cejchovaného 0 – 10. Pokud ovládáme potenciometr **TORQ REF**, měníme maximální limit momentu motoru. Postup při vypínání stejnosměrného motoru je v opačném pořadí. Otáčky snížíme na nulu, (není podmínkou), ovladač **START** se přepne doleva do výchozí polohy, tlačítkem **OFF** se vypne buzení pohonu.

Můžeme si povšimnout, že při zapnutí buzení i při zapnutí napájení kotvy může docházet k hlasitým zvukovým projevům. Tento jev je přirozený, není známkou poruchy či nestandardního chování měniče či motoru.

## Ovládání pomocí řídícího panelu DCS-CP



Obr. 2.14. Řídící panel DCS-CP měniče DCS800 [5]



Řídicí panel měniče DCS800 DCS-CP můžeme vidět na obr. 2.14. Má pět řádků, které dělíme do tří sekcí. Horní řádek zobrazuje proměnné závisící na zvolené operaci. Prostřední část zobrazuje proměnné ukazující hlavně parametrové hodnoty, menu nebo lišty. A spodní řádek ukazuje funkce obou soft kláves a hodiny, v případě že jsou povoleny. Tento panel může pracovat v osmi režimech a jsou to: parametrický režim, režim asistence nastavení prvotních údajů, režim maker, režim změn parametrů, režim pro zobrazování chyb, režim nastavení hodin, režim pro zálohu parametrů a režim nastavení vstupně výstupních portů. [5]

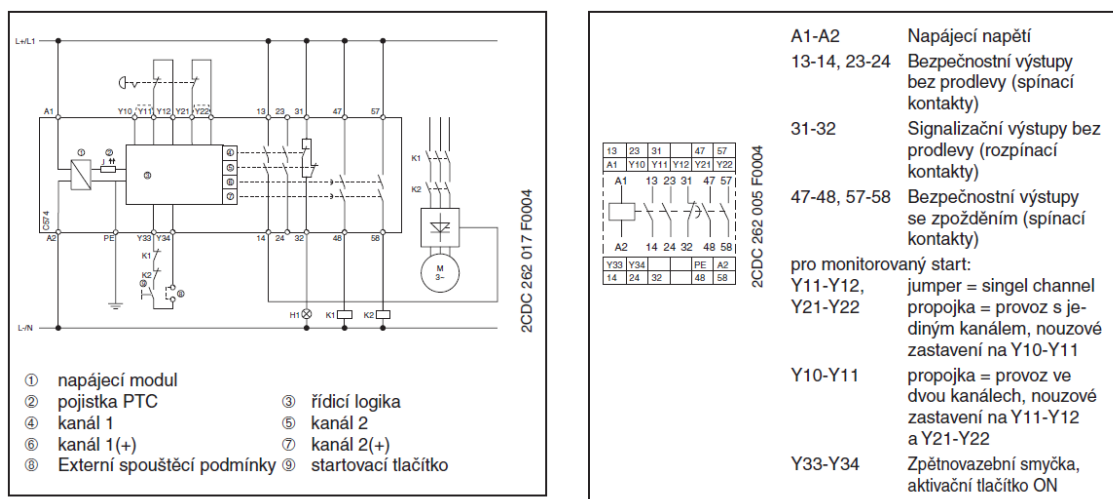
## 2.3 Bezpečnostní relé C574

Bezpečnostní relé C574 se využívá v zařízeních pro nouzové vypnutí (EMERGENCY STOP) a v bezpečnostních obvodech. Dále například pro monitorování bezpečnostních vrat, nebo v obvodech s řízenými požadavky na uvedení do klidu.

Bezpečnostní relé C574 má dva aktivační obvody (bezpečnostní výstupy) se zpožděním a dva bez zpoždění, které jsou nastaveny jako spínací kontakty a jeden signálový výstup nastavený jako rozpínací kontakt.

Pět indikačních LED diod (Power = napájení, kanál 1, kanál 2, kanál 1 s prodlevou, kanál 2 s prodlevou), které indikují provozní stav a funkci.

Pokud odblokujeme nouzové vypínací tlačítko (EMERGENCY STOP) nebo koncový spínač a dojde k sepnutí aktivačního obvodu ON Y33-Y34, jenž kontrolován z hlediska zkratu. To znamená, že porucha je zjištěna v případě, že Y33-Y34 sepne před stlačením nouzového vypínacího tlačítka.



Obr. 2.15 Blokové schéma a schéma zapojení relé nouzového vypnutí C574

## 2.4 Ovládání měničů pomocí programu DriveWindow

DriveWindow je PC software pro uvedení do provozu, řízení a údržbu nízko a středně napěťových průmyslových pohonů společnosti ABB. Tento nástroj využíváme po celou dobu životního cyklu pohonu. DriveWindow umožňuje uživatelům základní funkce jako: zobrazení, úpravu a nastavení hodnot parametrů, ale také pokročilejší funkce jako backup a restore pohonu (záloha a obnovení), či pohled do záznamu dat (datalogger), nebo záznamu chyb (fault logger). Dále lze s tímto softwarem přímo ovládat pohon (pomocí příkazů jako start, stop, reference a další). A také provádět monitoring signálů. Program DriveWindow může být k PC připojen různými způsoby, my využíváme připojení k pohonům pomocí vysokorychlostního optického vlákna přes převodník RUSB-02 (který můžeme vidět na obr. 2.16) a USB konektor do PC. Ovládání pohonu pomocí programu DriveWindow je možné také vzdáleně přes internet.

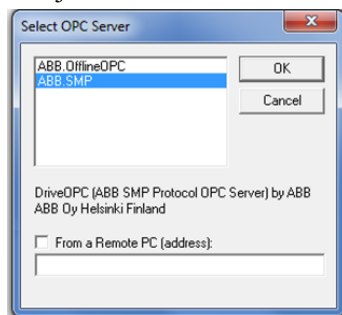


Obr. 2.16 Převodník rozhraní USB/Optické rozhraní RUSB-02

Instalace tohoto softwaru probíhá standardním způsobem jako u jiných programů, čili není potřeba se jí zabývat. Podpora operačního systému je od Windows XP po Windows 8.

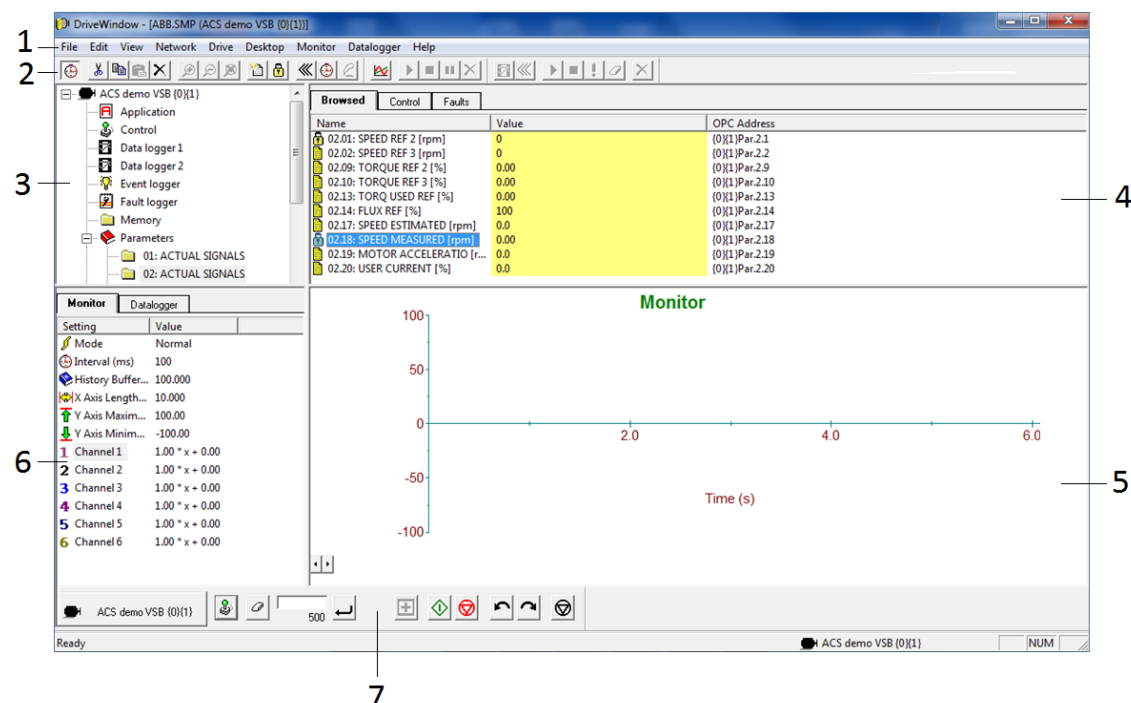
### Spuštění DriveWindow

Při spuštění programu je pro připojení potřeba vybrat položku ABB.SPM. V případě že bychom chtěli ovládat nějaký pohon vzdáleně, vybereme položku (From a Remote PC) a zadáme jeho IP adresu. Po potvrzení již vidíme základní rozhraní programu.



Obr. 2.17 Spouštění programu DriveWindow

Základní rozhraní programu DriveWindow můžeme vidět na Obr. 2.18. V následující části rozebereme jeho nejdůležitější části.



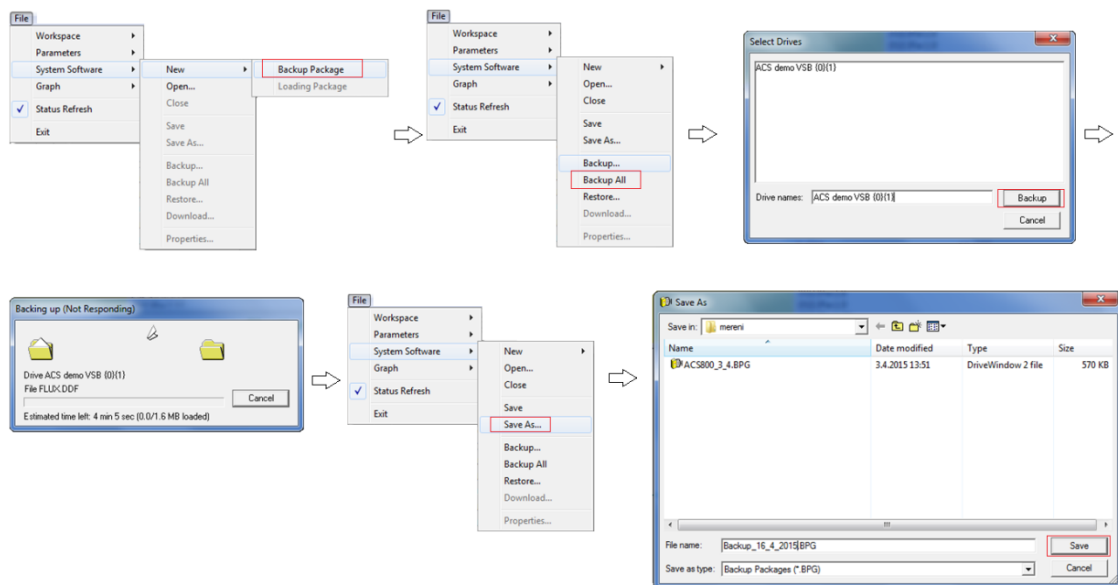
Obr. 2.18 Základní rozhraní programu DriveWindow

1. Hlavní menu programu
2. Panel nástrojů
3. Menu pohonu (Výběr pohonu, či jeho vnitřních údajů)
4. Zobrazení parametrů
5. Sekce pro monitorování průběhů
6. Nastavení monitorovaných průběhů
7. Řízení pohonu

## Backup a Restore

Před začátkem jakékoli práce na pohonu je dobré provést backup (zálohu údajů o pohonu), aby bylo možné v případě změny, která způsobí rozlezení parametrů, či úplnou nefunkčnost pohonu jej uvést do původního stavu pomocí restore.

Postup provádění backup (pro přehlednost zobrazen na obr. 2.19) je následující. V hlavním menu programu vybereme položku File > System Software > New > Backup Package. Poté musíme znova najet na menu File > System Software, kde se nám zpřístupní další položky. Vybereme Backup All. Provedeme výběr pohonu, ze kterého chceme udělat Backup. V našem případě je zde zobrazen vždy pouze jeden Měnič. Nyní se provádí backup nastavení pohonu. Tato operace trvá přibližně pět minut. Poté vybereme v menu File > system software > Save As. Vytvořený backup vhodně pojmenujeme a uložíme na libovolné místo na disku.

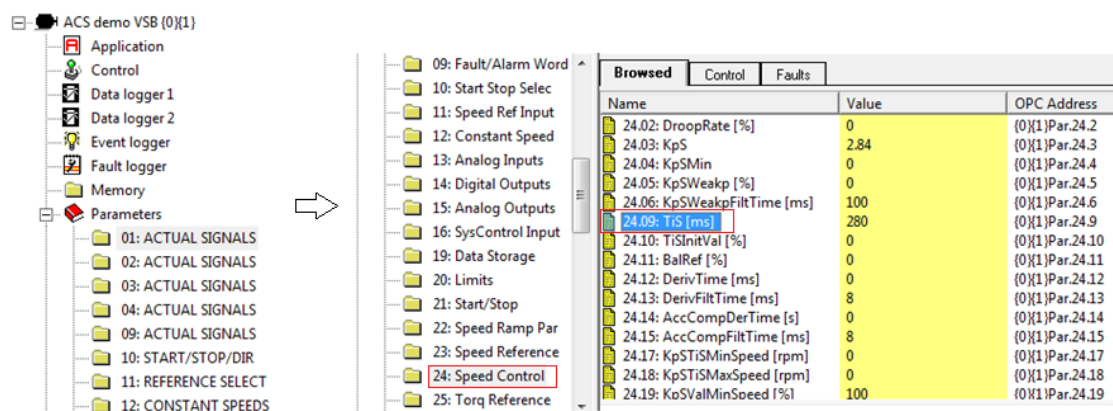


Obr. 2.19 Postup při provádění backup měniče

Restore měniče probíhá stejným způsobem jako backup, pouze v druhém kroku místo backup all vybereme položku Restore.

### Nastavení a zobrazení parametrů


V případě že se chceme podívat, co je nastaveno v nějakém konkrétním parametru a případně tuto hodnotu změnit, rozklikneme si v menu pohonu položku Parameters a zde můžeme vidět skupiny všech parametrů, které se dají v pohonu zobrazit či nastavit. Z těchto skupin si vybereme tu, obsahující parametr, jenž nás zajímá. Například časová konstanta rychlostního regulátoru. Vybereme skupinu 24:Speed Control a v sekci zobrazení parametrů vyhledáme konkrétní parametr. Jeho změnu provedeme pouhým dvojklikem a přepsáním hodnoty, což je možné i za chodu měniče. Náznorné zobrazení můžeme vidět na Obr. 2.20.



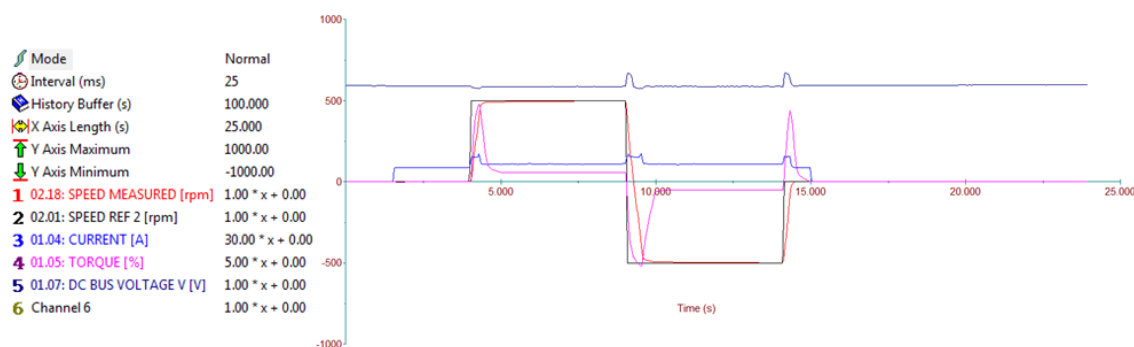
Obr. 2. 20 Ukázka změny parametru 24.09 časové konstanty rychlostního regulátoru

## Monitorování průběhů

Program DriveWindow umožňuje monitorovat aktuální signály v reálném čase a plnit tím funkci osciloskopu. Pomocí této funkce můžeme zobrazit až 6 kanálů, kterým můžeme přiřadit libovolné aktuální veličiny.

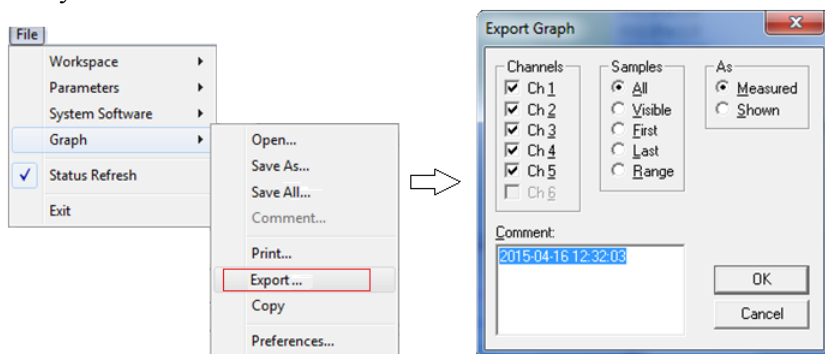
Výběr zobrazovaných veličin můžeme provést dvěma způsoby. První možnost je označit požadovaný parametr a stisknout v toolbaru tlačítko pro přidání (  ) nebo můžeme daný parametr zobrazit přetažením myši do oblasti nastavení monitorovaných průběhů. Aktuální signály pro zobrazení se nacházejí ve skupině parametrů 01 a 02 ACTUAL SIGNALS. Měření začínáme šipkou play v panelu nástrojů. Měnit nastavení zobrazení pro měření můžeme pouze v případě, že právě neměříme.

Ukázku nastavení zobrazených parametrů a jejich průběh můžeme vidět na obr. 2. 21. Nastavujeme ze dvou módů rychlý, či normální. Při našich měřeních byl vybrán mód normální (Normal). Dále můžeme nastavit interval, jak rychle budeme provádět vzorkování proměnných. Následuje nastavení doby, po kterou ukládáme naměřené průběhy. Jako další nastavujeme osy, konkrétně délku osy x, minimum a maximum osy y. Poslední nastavení, které můžeme provést je pronásobení určité veličiny pro její lepší zobrazení, případně nastavit její offset.



Obr. 2.21 Ukázka nastavení monitorovaných průběhů a měření

Z naměřených průběhů můžeme exportovat hodnoty do textového souboru. V hlavním menu programu vybereme položku File > Graph > Export. Dále se nám zobrazí tabulka, kde nastavíme hodnoty, které kanálů chceme uložit a jaký typ vzorku. Dále máme možnost do tohoto textového souboru přidat vlastní komentář. Po stisknutí tlačítka OK se vytvoří textový soubor s naměřenými hodnotami.



Obr. 2. 22 Postup při exportování naměřených hodnot do textového souboru

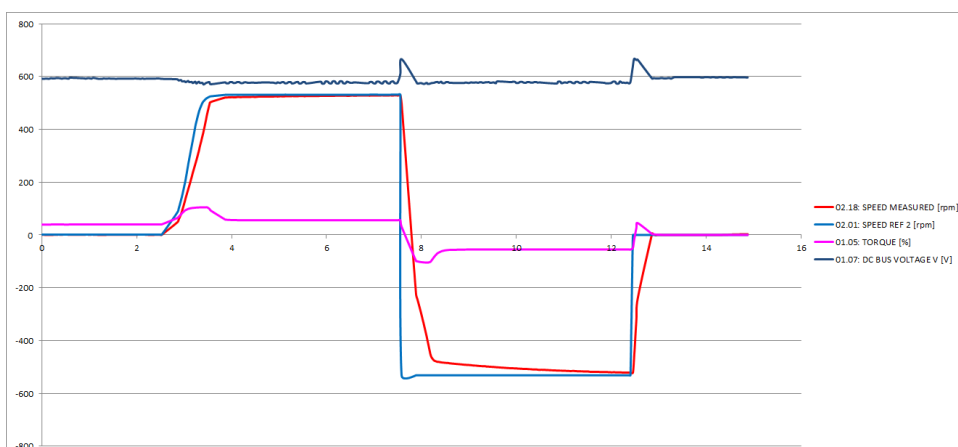
ukazka\_DW - Poznámkový blok

[DRIVENINDOW 2.0 Monitor Export File]  
 2015-04-16 12:32:03  
 Selected 5 channels of 5 enabled.  
 Selected All 295 samples As Measured of 295. Range from 0 to 14.875 seconds.

Mode Normal  
 Interval (ms) 25  
 History Buffer (s) 100.000  
 X Axis Length (s) 25.000  
 Y Axis Maximum 1000.00  
 Y Axis Minimum -1000.00  
 Time at X=0 2015-04-16 12:31:08.1885193

Channel 1		2		3		4		5	
OPC Address: {0}{1}Par.2.18		{0}{1}Par.2.1		{0}{1}Par.1.4		{0}{1}Par.1.5		{0}{1}Par.1.7	
Coefficient 1		30		5		1			
Offset 0		0		0		0		0	
Name: 02.18: SPEED MEASURED [rpm]		02.01: SPEED REF 2 [rpm]		01.04: CURRENT [A]		1.05: TORQUE [%]		01.07: DC BUS VOLTAGE V [V]	
Time (s)	Value	Time (s)	Value	Time (s)	Value	Time (s)	Value	Time (s)	Value
-0.0325333	1.2540015	-0.0274905	1.3911722	-0.0224942	3.3856225	-0.0175014	39.474525	-0.0125	592.3822
-0.0074915	1.0848043	-0.002496	1.3911722	0.0025362	3.2345943	0.0075005	39.508011	0.0125244	592.3822
0.0425037	0.76413143	0.0475044	1.3911722	0.0525212	3.3096094	0.0575041	39.537308	0.0625055	591.50305
0.0675377	0.35047525	0.0725067	1.3911722	0.0775093	3.3234739	0.0825052	39.554642	0.0875055	592.3822
0.1175104	0.22292134	0.1225099	1.3911722	0.1275073	3.3575225	0.1325265	39.58992	0.1375197	592.3822
0.1425432	0.10132788	0.1475292	1.3911722	0.1525318	3.3832192	0.157508	39.604568	0.1625102	591.50305
0.1925151	0.20384786	0.1975162	1.3911722	0.202514	3.2694368	0.2075139	39.669434	0.2125224	594.13989
0.2175404	0.41961664	0.2225181	1.3911722	0.2275168	3.346498	0.2325324	39.681091	0.2375172	593.26086
0.267519	0.54478633	0.2725209	1.3911722	0.2775203	3.3555055	0.282519	39.716667	0.2875543	593.26086
0.2925538	0.67591655	0.2975201	1.3911722	0.3025171	3.3440151	0.3075186	39.737297	0.3125523	594.13989
0.3425238	1.2397764	0.3475244	1.3911722	0.352497	3.3885932	0.3575221	39.754036	0.3625219	594.13989
0.3675257	1.2397764	0.3726061	1.3911722	0.3775234	3.2052641	0.382541	39.754929	0.3875239	594.13989
0.4175296	0.99778152	0.4225299	1.3911722	0.427527	3.3376513	0.4325304	39.705605	0.4375685	592.3822
0.44253	1.2457368	0.4475311	1.3911722	0.4525613	3.3236704	0.4575323	39.693054	0.4625318	593.26086

Obr. 2.23. Ukázka vytvořeného textového souboru



Obr. 2.24 Ukázka zobrazení naměřených hodnot programem Excel

## Ovládání pohonu z DriveWindow

Panel pro ovládání pohonu, můžeme vidět na obr. 2.25. Ovládání začínáme vždy stisknutím tlačítka joysticku, čímž DriveWindow přebere řízení pohonu. Poté můžeme ovládat pohon zadáním reference tlačítka start a stop. Dále můžeme změnit směr otáčení. Na tomto panelu se ještě nachází tlačítko pro reset chyb. A poslední, úplně vpravo, se nachází tlačítko coast stop pro doběh.



Obr. 2.25 Panel ovládání pohonu z programu DriveWindow

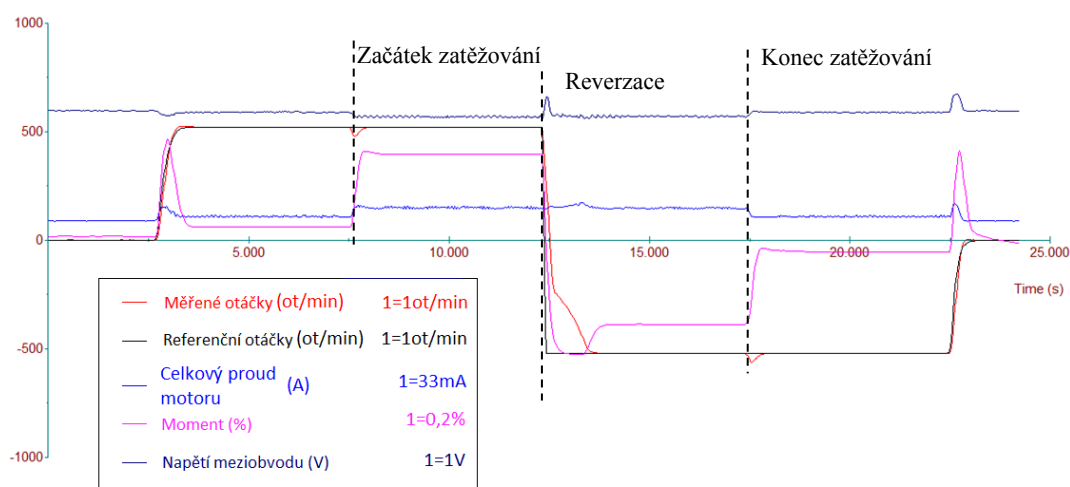
### 3 Možnosti zatěžovacího stanoviště

Jak již vyplývá ze jména tohoto stanoviště, bylo navrženo pro simulaci zatěžování. Můžeme zatěžovat, jak střídavý pohon stejnosměrným, tak stejnosměrný střídavým.

Měřicí zatěžovací stanoviště bylo přizpůsobeno tak, aby to bylo možné jej ovládat bez připojení PC pouze řídicím panelem s ovládacími prvky. Toho jsme dosáhli tím způsobem, že pro každý pohon byl určen potenciometr, na který jsme pomocí parametru nastavili řízení maximálního limitu momentu. Počet měření, jenž lze provést je velmi rozsáhlý proto uvedu v této kapitole pouze zatěžování obou pohonů při proměnném zatížení. Další naměřené průběhy můžeme vidět v příloze této práce.

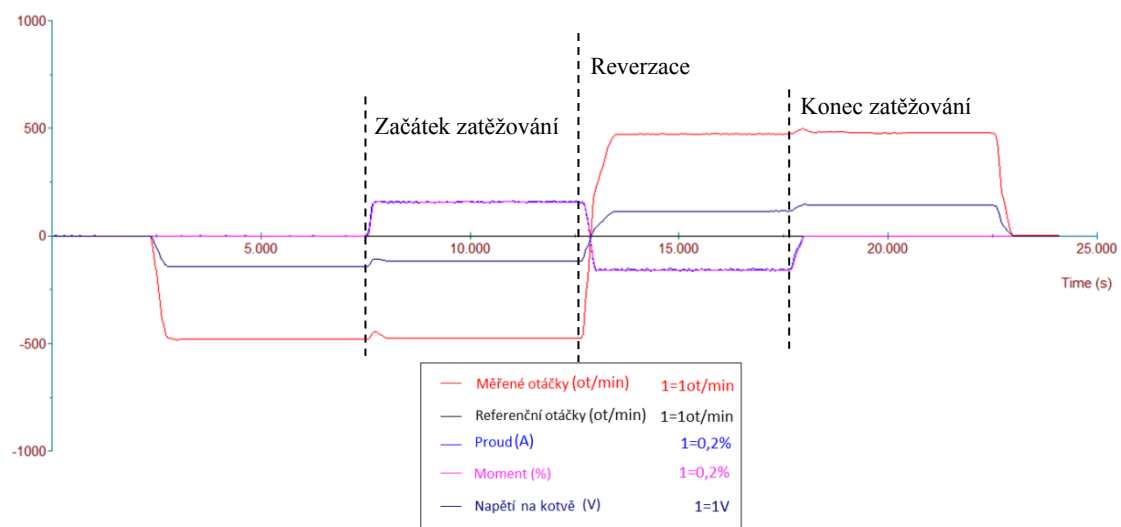
#### 3.1 Zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným

Zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným můžeme vidět na obr. 3.1 a 3.2. Vidíme stejný proces měření pokaždé z jiného měniče. Při zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným začneme točit asynchronním motorem. Nastavíme jeho otáčky na 500 ot/min. a to přibližně ve 2,5 sekundách průběhu. Při zvyšujících se otáčkám můžeme vidět nárůst momentu a celkového proudu motoru. Tyto veličiny se ovšem bez zatížení vrací na původní hodnotu. Následně stejnosměrnému motoru s cizím buzením nastavíme maximální limit momentu na 50 procent a to zhruba v 7,5 sekundách. Vidíme pokles otáček, který se ovšem měnič snaží okamžitě dorovnat na žádanou hodnotu. Při zatížení také vzroste moment z 13 na 85 procent a vzroste také proud motoru, který zůstává na zvýšené hodnotě. Poté provádíme reverzaci a můžeme si povšimnout krátkodobého nárůstu napětí v meziobvodu. Dále vidíme díky reverzaci změnu polaritu momentu a otáček. Skutečné otáčky při tomto velkém zatížení nekopírují zcela přesně žádané, ale během chvíle je dorovnávají. K tomuto jevu dochází z důvodu proudového omezení. Následně vypínáme zatížení snížením maximálního limitu momentu stejnosměrného pohonu na nulu. Vidíme krátkodobý nárůst otáček. Poté již zastavujeme asynchronní motor a nastavujeme jeho otáčky na 0 ot/min.



Obr. 3.1 Zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným, pohled z měniče ACS800

Na obr. 3.1 si můžeme povšimnout změny odezvy žádaných otáček na skutečné. Při takřka skokové změně otáček bez zatížení, skutečné otáčky přesně kopírují žádané, zatímco při zatížení tento proces trvá. Na Obr. 3.2 můžeme vidět stejný proces měření, tentokrát z pohledu měniče DCS800. Referenční otáčky jsou po celou dobu nulové, jelikož točíme pomocí měniče ASC800. Kladné otáčky asynchronního motoru jsou brány pro stejnosměrný motor jako záporné. Při zatěžování tvar proudu přesně kopíruje tvar momentu. Hodnota momentu a proudu je, stejně jako v předchozím případě, do průběhu pronásobena konstantou pro lepší zobrazení. Hodnotu tohoto pronásobení vidíme v legendě průběhu.



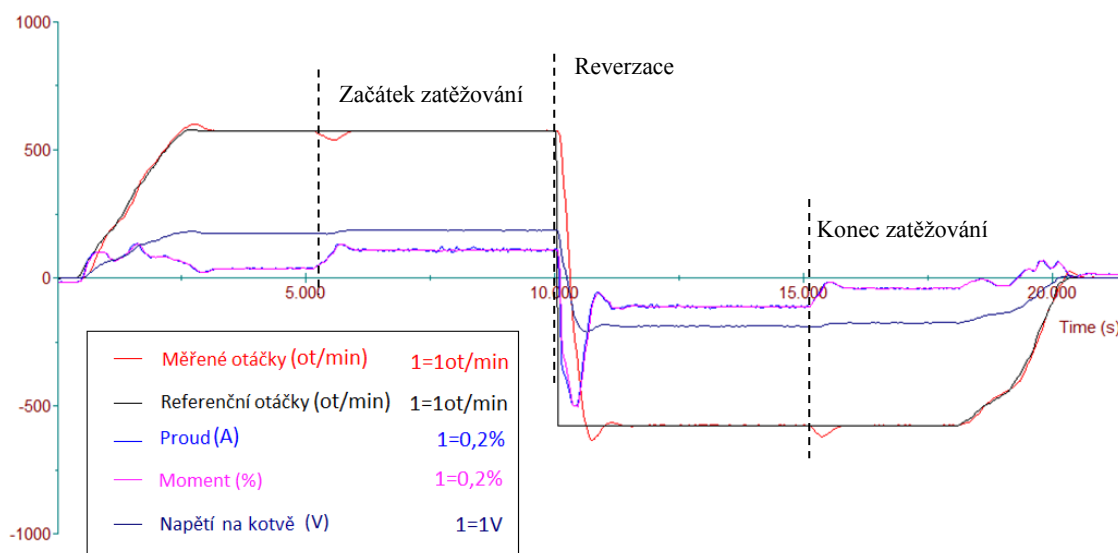
Obr. 3.2 Zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným, pohled z měniče DCS800

Drobné rozdílnosti mezi Obr. 3.1 a Obr. 3.2 jsou způsobeny tím, že měření pro každý měnič probíhalo samostatně, ačkoli je měření stejné. Je možné, že při ručním ovládání potenciometrů vznikne malá odchylka. Tento fakt ovšem nemá vliv na probíhající děje.



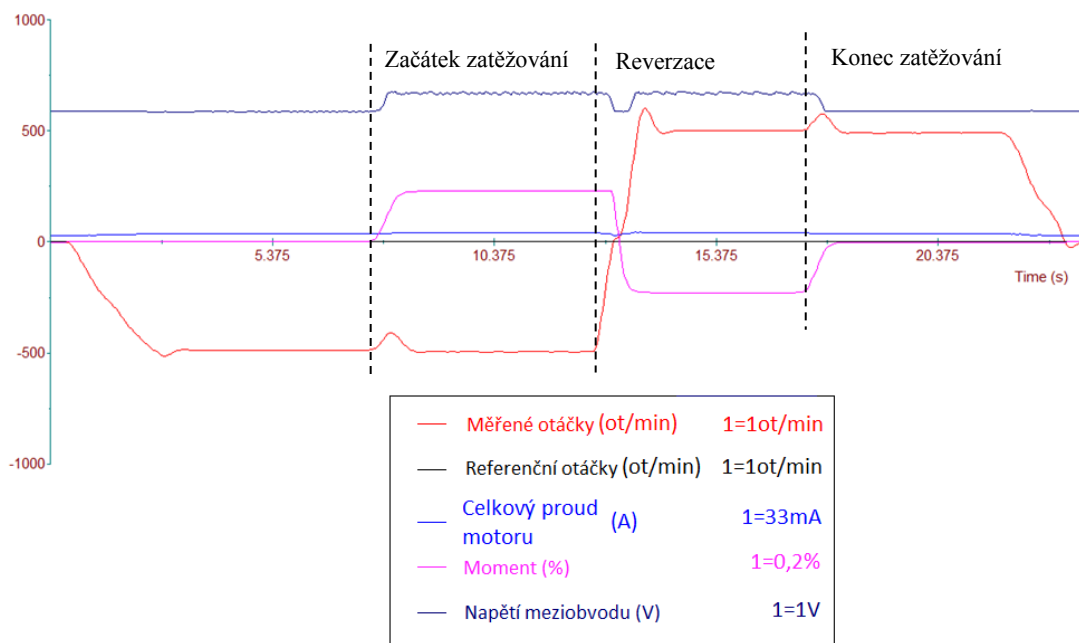
### 3.2 Zatěžování stejnosměrného pohonu střídavým

Zatěžování stejnosměrného pohonu pohonem střídavým, můžeme vidět na obr. 3.3 a 3.4, pokaždé měřeno z jiného měniče. Proces měření probíhá obdobně jako u zatěžování střídavého pohonu stejnosměrným. Otáčky na měniči DCS800 nastavíme na 500 ot/min v 2,5 sekundách průběhu. Vidíme překmit skutečných otáček oproti žádaným, což je způsobeno nastavením rychlostního regulátoru. Také můžeme vidět nárůst momentu a proudu, který poté klesne a stabilizuje se na hodnotě 8,1 procent. V dalším kroku začínáme zatěžovat nastavením momentu na měniči ACS800, což způsobí krátkodobý pokles otáček a nárůst momentu. Poté provádíme reverzaci otáček stejnosměrného motoru. Napětí i proud motoru změni polaritu a u proudu a momentu dochází opět k překmitu. Při konci zatěžování se nám opět zvednou otáčky, stejně jako je to při jeho začátku. Následně nastavujeme otáčky na 0 ot/min.



Obr. 3.3 Zatěžování stejnosměrného pohonu stejnosměrným, pohled z měniče DCS800

Při pohledu z měniče ACS800 na obr. 3.4 vidíme, že referenční otáčky jsou po celou dobu nastaveny na 0 ot/min. Dále si můžeme všimnout, že při zatěžování narůstá hodnota napětí napěťového meziobvodu, což způsobí spínání braking chopperu a maření energie v brzdném odporu.



Obr. 3.4 Zatěžování stejnosměrného pohonu stejnosměrným, pohled z měniče ACS800

## 4 Rozbor zatěžovacího stanoviště z hlediska toku výkonu

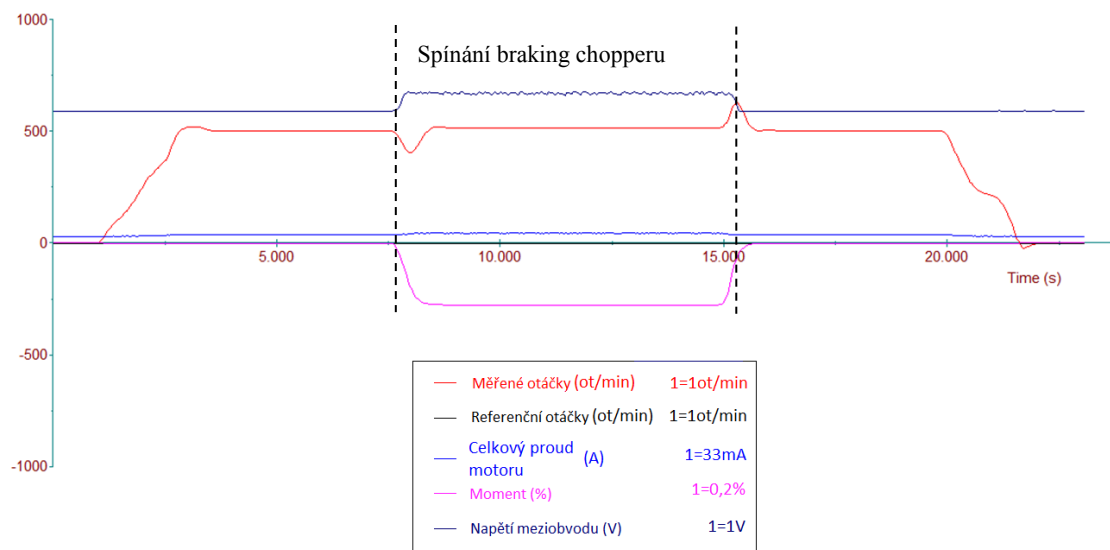
Při popisování zatěžovacího stanoviště z hlediska toků výkonů, je nejdůležitější fakt, že máme k dispozici rekuperační čtyřkvadrantový usměrňovač. A nerekuperační nepřímý měnič frekvence, který ovšem obsahuje vestavěný braking chopper a externí brzdňý odpor, ve kterém maříme přebytečně vzniklou elektrickou energii. V této kapitole tedy ukážeme průběhy vzniklé při spínání braking chopperu měniče ACS800 a při rekuperačním brzdění měniče DCS800. Také je v této kapitole vypočítána účinnost celého zatěžovacího stanoviště při již zmíněném rekuperačním brzdění.

### 4.1 Spínání braking chopperu měniče ACS800

Jestliže máme k měniči ACS800 brzdňý odpor, jako je tomu v našem případě, musíme zajistit správné nastavení parametrů, aby vše fungovalo tak, jak má. V první řadě musíme vypnout kontrolu přepětí meziobvodu (parametr 20.05). Kontrola podpětí meziobvodu (parametr 20.06) zůstává nadále zapnutá. Kontrola podpětí meziobvodu funguje tak, že pokud poklesne napětí meziobvodu v důsledku vypnutí vstupního napětí, hlídač podpětí automaticky sníží otáčky motoru tak, aby udržel otáčky nad spodním limitem. Snížením otáček setrvačnost motoru způsobí zpětnou rekuperaci do měniče a udržíme požadovanou hodnotu napětíového meziobvodu do té doby, než motor doběhne a zastaví se. Tento systém je využit také pro překonávání krátkodobých výpadků elektrického proudu v systémech s vysokou setrvačností, jako jsou například odstředivky, nebo ventilátory.

Další skupina parametrů, které musíme nastavit, se týká přímo braking chopperu. Jedná se o skupinu parametrů 27. Je nutno nastavit parametr 27.1 BRAKE CHOPPER CTL na hodnotu ON. Dále musíme nastavit velikost připojeného odporu na  $44\Omega$  (parametr 27.03). Dále nastavíme tepelnou časovou konstantu na hodnotu 200 sekund (parametr 27.04). Tato hodnota je použita jako ochrana proti přetížení. Jako poslední nastavíme maximální brzdňý výkon na hodnotu motoru, čili 2,2kW (parametr 27.05).

Na obr. 3.5 můžeme vidět průběh, při kterém dochází ke spínání braking chopperu a maření elektrické energie v brzdňém odporu. Postup pro toto měření spočívá v přetáčení asynchronního motoru motorem stejnosměrným. To znamená, že točíme stejnosměrným motorem ve směru asynchronního motoru nastaveném na řídicím panelu jako BWD. Asynchronnímu motoru nastavíme maximální limit momentu. Otáčky byly nastaveny na hodnotu 500 ot/min zhruba ve 2,5 sekundách průběhu. Zatěžování, jež způsobí spínání braking chopperu vidíme na průběhu od 7,5 do 155 sekundy. V této době také můžeme vidět záporný moment motoru. Otáčky nastavujeme na 0 ot/min v přibližně 20 sekundách průběhu. Referenční otáčky asynchronního motoru jsou po celou dobu měření nulové. [3]



Obr. 3.5 Spínání braking chopperu měniče ACS800

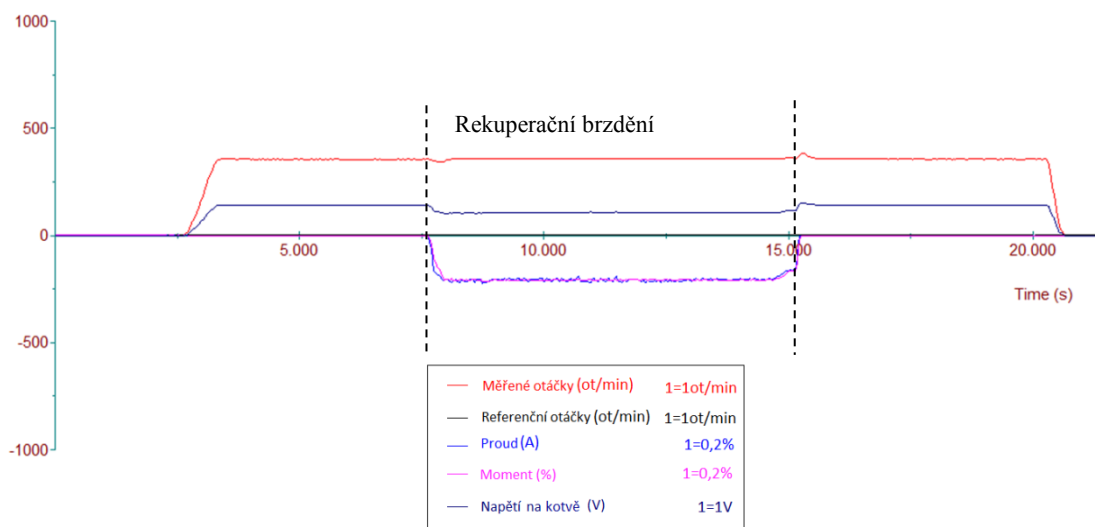
Hodnota meziobvodu pro spínání braking chopperu je uložena v parametru 124.19 OV ENABLE LIMIT a je nastavena na hodnotu 627,7V. Při překročení této hodnoty stejnosměrného napětíového meziobvodu začíná spínat braking chopper.

Při tomto měření můžeme spínání braking chopperu fyzicky slyšet. Také po chvíli maření energie v brzděném odporu můžeme v jeho okolí cítit zvýšenou teplotu.

## 4.2 Rekuperační brzdění pomocí 4Q – usměrňovače DCS800

Skutečnost že toto zatěžovací stanoviště obsahuje čtyřkvadrantový usměrňovač v této práci bylo zmíněno již několikrát, takže se zde nebudu zabírat teorií o tomto usměrňovači. Nastavení parametrů pro určení, že se jedná o čtyřkvadrantový usměrňovač, je více, což souvisí s konkrétním použitým měničem (parametr 97.01, který je v našem případě nastaven na hodnotu 76, což z firmware manuálů víme, že znamená typ S02-0025-04). Ovšem povolení čtyřkvadrantových operací se provádí v parametru 4.15. V našem případě nastaven na hodnotu 1, což znamená povolení druhého můstu (RelBridge 2 released == 4-Q operation). [5]

Na obr. 3.6 můžeme vidět naměřený průběh při rekuperačním brzdění. Pro toto měření jsme asynchronním motorem přetáčeli stejnosměrný. To znamená, že točíme asynchronním motorem ve směru stejnosměrného motoru s nastaveným směrem otáčení na řídicím panelu jako BWD. Stejnosměrnému motoru s cizím buzením nastavíme maximální limit momentu na 20 procent při nulových referenčních otáčkách. Důsledkem toho, jak můžeme vidět na přiloženém průběhu v době zatížení, máme kladné napětí (106V) a záporný proud (-20%, což je ze jmenovité hodnoty 12A proudu kotvy 2,4A). Vzniká nám tedy záporný výkon 254,4W, který posíláme zpět do sítě. Otáčky pro toto měření, byly nastaveny na hodnotu 500 ot/min ve zhruba 2,5 sekundách průběhu a maximální limit momentu byl nastaven od 7,5 do 15 sekund průběhu. V 20 sekundách byly otáčky opět nastaveny na hodnotu 0 ot/min.



Obr. 3.6 Rekuperační brzdění měniče DCS800

### Výpočet účinnosti zatěžovacího stanoviště při rekuperačním brzdění

Při výpočtu účinnosti zatěžovacího stanoviště jsme se pokoušeli zjistit, zda-li dokážeme, že zatěžovací stanoviště při rekuperačním brzdění má nižší proudový odběr, a jestli je tedy větší účinnost, než když do sítě energii nedodáváme. Situaci komplikuje odběr samotných součástek na stanovišti. Měření probíhalo experimentálně osciloskopem s proudovou sondou na fázích napájecího napětí a na vstupu usměrňovače. Při rekuperačním brzdění byl ovšem naměřen proud 17,6% jmenovitého proudu, to je 2,11A a napětí na kotvě 116V, což dělá výkon vrácený do sítě pouze 245W. Část tohoto výkonu se ztrácí při samotném brzdění a z naměřených výsledků nejsme schopni při příkonu stanoviště 3,1kW tuto hodnotu dohledat. Pro přesnější měření, by bylo zapotřebí použít síťový analyzátor.

## Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval zatěžovacím stanovištěm pro elektrický pohon s měniči firmy ABB. Provedl jsem specifikaci tohoto stanoviště a jeho nejdůležitějších částí. Dále jsem provedl rozbor tohoto stanoviště s ohledem na směr toku výkonů, což je reprezentováno dvěma experimentálními měřeními. První je spínání braking chopperu v napětovém meziobvodu, pomocí kterého můžeme mařit přebytečnou elektrickou energii při překročení napětové hodnoty meziobvodu měniče ACS800, jak vidíme na obr. 3.5. A druhé reprezentujeme rekuperačním brzděním měniče DCS800, při kterém vracíme energii přes čtyřkvadrantový usměrňovač zpět do sítě, což můžeme vidět na obr. 3.6. Pro správnou funkčnost tohoto stanoviště bylo nutné nastavit některé parametry a rychlostní regulátory, a také bylo zapotřebí provést drobné úpravy v zapojení.

Přínos této diplomové práce spočívá ve vytvoření měřících úloh, které budou moci být využity při výuce a seznámí tak studenty s moderními měniči, které jsou v praxi hojně využívány. Vzorové úlohy nalezneme v příloze této diplomové práce. Rovněž se v příloze nachází sada výsledků experimentálních měření a výkresová dokumentace.

V praxi bývají tyto měniče často připojeny a ovládány přes PLC pomocí jednotky NDBU-95, která je připojena optickým kabelem. PLC systémy umožňují plně řídit měniče. Rozšíření tohoto projektu by mohlo spočívat v připojení těchto měničů k PLC a věrohodněji simulovat situace, které můžeme v praxi potkat. Další možností pro rozvoj projektu je adaptivní programování měničů, díky čehož můžeme pomocí několika nejpoužívanějších funkčních bloků sestavit více nezávislých programů pro řízení pohonu.

# Literatura

- [1] Vondrášek, František. *Výkonová elektronika. Svazek 2 - Měniče s vnější komutací*. Plzeň : ZČU, 1994.
- [2] *ACS800-01/UI Drives Hardware Manual*. Helsinki : ABB Oy, 2013. Rev K.
- [3] *ACS800 Standard Control Program 7.x Firmware Manual*. Helsinki : ABB Oy, 2011 Rev L.
- [4] *DCS800 Hardware Manual*. Ladenburg : ABB Automation Products GmbH, 2013. Rev G.
- [5] *DCS800 Firmware Manual*. Ladenburg : ABB Automation Products GmbH, 2011. Rev G.
- [6] Brandštetter, Pavel. *Elektrické regulované pohony III. Učební texty pro komb. a distanční studium*. Ostrava : VŠB, 2010.
- [7] DTC: A motor control technique for all seasons. *abb.com*. [Online] [Citace: 26. 4 2015.] <http://new.abb.com/drives/dtc>.
- [8] Přímé řízení momentu a měniče frekvence ABB. *Elektro: časopis pro elektrotechniku*. 2007, č. 8-9, stránky 38,39,40.
- [9] Drives. [Online] [www.abb.com/drives](http://www.abb.com/drives).
- [10] ABB podporuje iniciativu OSN v oblasti ekologické energie. *abb.com*. [Online] [Citace: 2. 3 2015.] <http://www.abb.cz/cawp/seitp202/6407e5aa00904274c1257d6d00290ffd.aspx>.
- [11] *ABB industrial drives ACS800 Catalog*. New Berlin : autor neznámý, 2009. Rev D.
- [12] *ABB DC Drives DCS800 Catalog*. New Berlin : autor neznámý, 2014. Rev K.
- [13] Neborák, Ivo. *Modelování a simulace elektrických regulovaných pohonů*. Ostrava : VŠB- TU, 2002. ISBN 80-248-0083-7.

# Seznam příloh

**Příloha 1** - Vzorové úlohy

**Příloha 2** - Naměřené průběhy

**Příloha 3** - Projektová dokumentace

**Příloha 4** – Záloha parametrů a nastavení měničů – CD-ROM